无线电

2011年合订本 上

1955年创刊 www.radio.com.cn 邮发代号：2-75 国外代号：M106

《无线电》编辑部 编

本书附赠光盘
精选电子套件演示视频
单片机源程序、印制电路板图等丰富资料

2011年第1期～第6期

创意制作 > 玩转单片机 > 实用电路 > 音频应用 > 特别策划 > 我的实验室 > 广播爱好者 > 维修帮手 > 初学者园地

享受广播 - TECSUN
Enjoy broadcasting

TECSUN
德生牌收音机
中国驰名商标

因为梦着你的梦……

……一群广播爱好者为众多广播爱好者精心打造的收音机！

德生收音机论坛：http://bbs.tecsun.com.cn
德生淘宝店：http://best-radio.taobao.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电
Radio.com.cn

我们告诉电子爱好者： 学什么、用什么、玩什么、怎么玩……

— Since 1955 —

重点内容

- 精彩制作
- 我的实验室
- 创意项目
- 互动问答
- 初学者园地

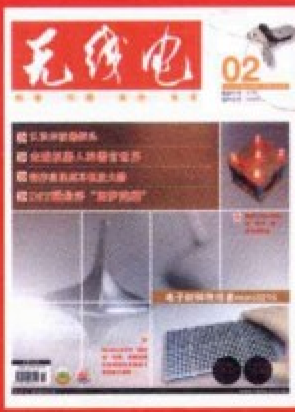
一本与现代电子技术共成长的科普杂志

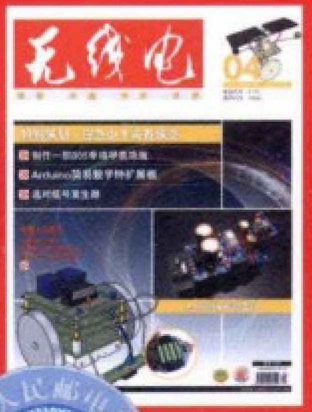
一本倡导动手实践与互动分享的优秀杂志

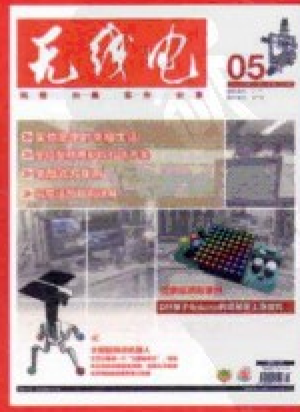
一本让几代中国电子人才受益的权威杂志

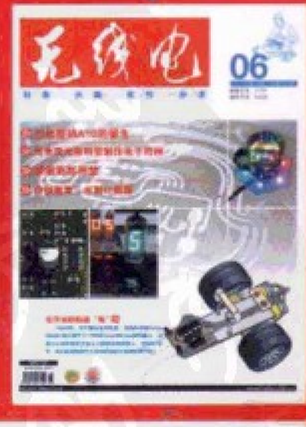
一本关注电子爱好者和业内人士的兴趣杂志

欢迎订阅！









杂志订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅（收订热线：11185）
2. 汇款到杂志社邮购
   汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街14号A座，收款人：《无线电》杂志，邮编：100061
   （请务必注明您的姓名、地址、邮编、电话及购买内容）
3. 网上购买：（1）邮政网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）
   （2）淘宝代理店：boqu.taobao.com（主营杂志、图书及杂志社的周边产品）
   （3）卓越网：www.amazon.com.cn（登陆卓越网→搜索无线电杂志→购买）
4. 到社直接订阅。咨询电话：01067134361或67161471（工作时间：周一至周五，早8：00－17：00）
4. 电话订阅：拨打116114，按“0”键转人工服务进行订阅，上门服务（仅限北京）

ISBN 978-7-115-27015-3
9 787115 270153 >
ISBN 978-7-115-27015-3
定价：48.00 元（附光盘）

无线电

2011年合订本（上）

《无线电》编辑部　编

人民邮电出版社

北京

PDG

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》2011年合订本. 上 / 《无线电》编辑部编. -- 北京 : 人民邮电出版社，2012.2
ISBN 978-7-115-27015-3

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术—2011—丛刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第242955号

内 容 提 要

《无线电》2011年合订本（上）囊括了《无线电》杂志2011年第1～6期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了精选的电子套件演示视频，如PVC-Robot系列仿生机器人演示视频、电子时钟演示视频等，还收录了与文章相关的单片机源程序、印制电路板等资料。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》2011年合订本（上）

◆ 编　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　周　明
特约编辑　邓　晨

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街14号
邮编　100061　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：36.5
字数：1 156千字　2012年2月第1版
印数：1－9 000册　2012年2月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-27015-3

定价：48.00元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第0021号

无线电

CONTENTS

2011年合订本（上）

目 录

精彩制作

创意制作

机器人来了 （001）

我与机器人爱好 ◎胡泊（002）

从小车开始你的机器人爱好之旅 ◎胡泊（003）

制作机器人该用什么单片机 ◎刘天龙（007）

制作机器人常用传感器盘点 ◎胡泊（010）

谈谈机器人的安装 ◎胡泊 编译（013）

日本爱好者制作的微型循线小车 ◎ Jing Chen 编译（015）

我的机器人制作体验 ◎刘天龙（017）

机器人爱好者如是说 ◎胡泊 整理（019）

机器人总动员 ◎金今（020）

PVC-Robot 之疯狂的小强——避障机器人 ◎ Plenilune（026）

DIY 磁悬浮“盗梦陀螺” ◎陈武（032）

玩转 Arduino

走进机器人的器官世界（1） ◎刘英杰（035）

专题 一起来玩车型机器人！ （038）

太阳能滑行机器人 ◎ Plenilune（039）

基于模拟计算机的循线小车 ◎臧海波（046）

MiniQ 2WD 二轮驱动机器车☆ ◎刘英杰（050）

太阳能呼吸灯 ◎孙德庆（052）

玩转 Arduino

无线模块让 Arduino 更自由 ◎程晨（053）

制作你的桌面小型摄影棚 ◎温正伟（056）

微型[illegible]人 DIY

微型太阳能陀螺机器人 ◎臧海波（058）

创意涂鸦板 ◎李光宇 李博（061）

太阳能转动机器人 ◎ Plenilune（069）

Arduino 无线模块让手机也能遥控电器 ◎程晨（073）

会寻光的机器龟 ◎臧海波（077）

3D 打印——快速成形技术 ◎金今（080）

一起来玩双足机器人吧！ ◎孟庆彪（083）

太阳能翻跟斗机器人 ◎ Plenilune（086）

玩转单片机

制作 RT3 电子温度计 ◎杜洋（090）

电动自行车里程表 ◎陈庚（096）

学习型红外遥控灯座设计制作全过程 ◎秦新月（099）

PIC 单片机轻松入门（下）

音频信息显示屏——PIC 单片机定时器、模数转换器使用实例 ◎周坚（102）

小小荧火虫——定时器 PWM 功能的应用 ◎周坚（106）

综合应用——现场可编程彩灯控制器 ◎周坚（110）

玩转电能表 体验智能化 4

复费率电能表☆ ◎吴汉清（115）

制作 mini3216 电子时钟 ◎杜洋（118）

能“变形”的两用游戏机——摇摇骰子和打地鼠游戏☆ ◎伍浩荣（123）

自制模块化循迹智能小车 ◎蒋瑞挺（126）

DIY 个性化尼康单反相机遥控快门 ◎温正伟（129）

小小数字调频收音机 ◎卫小鲁（131）

DIY 玩具无线耳机 ◎刘亮（135）

CONTENTS

隔空控制——七彩“魔法瓶” ◎伍浩荣（139）

用闲置 SIM 卡作单片机 EEPROM 扩展 ◎郝计军 张鹏（142）

用洞洞板走进 Arduino 之门 ◎卫小鲁（144）

用洞洞板做一个 Arduino 简易数字钟扩展板 ◎卫小鲁（148）

基于 51 单片机的简易 LED 屏控制板制作 ◎董庆源（152）

自制数字示波器 ——电路原理与程序设计篇 ◎吴汉清（156）

笔筒式万年历☆ ◎伍浩荣（161）

再做一个 Arduino 简易扩展板——多路测温 ◎卫小鲁（165）

自制数字示波器——安装与调试篇 ◎吴汉清（169）

让 Arduino 成为一个 web 服务器 ◎卫小鲁（171）

自制电感和电容测量仪 ◎吴汉清（174）

DIY 莫尔斯码“随身听” ◎朱棣（177）

简易超声波避障小车的制作 ◎蒋瑞挺（179）

实用电路

DIY 之旅从一个毫伏表开始 ◎金宏伟（182）

用附件武装你的毫伏表 ◎金宏伟（184）

锂电池充电电路详谈 ◎夏天祥 宋思源 戴希洋（186）

“积木法”搭建高频合成信号发生器（1） ◎金宏伟（191）

自己动手制作水族控温器 ◎余立文（196）

LED 便携指示牌☆ ◎张彬杰（200）

“积木法”搭建高频合成信号发生器（2） ◎金宏伟（203）

为函数信号发生器扩展功能（上） ◎林芝松（208）

“积木法”搭建高频合成信号发生器（3） ◎金宏伟（212）

DIY 定时摄影装置 ◎温正伟（216）

为函数信号发生器扩展功能（下） ◎林芝松（218）

全铝型材雕刻机打造方案——制作篇 ◎谭利民（222）

全铝型材雕刻机打造方案——控制电路篇 ◎谭利民（225）

全铝型材雕刻机打造方案——软件篇 ◎谭利民（228）

不用单片机的贴片式数字温度计 ◎杨凯新（230）

用单荧光数码管制作电子时钟 ◎段卫军（233）

IRS2092 试用记——大功率 D 类功放制作实战 ◎任杰（238）

感温彩虹杯垫 ◎孙德庆（242）

自制盖革 - 米勒计数器——检测核辐射的利器 ◎朱轩（BH4RCI）（245）

音频应用

音乐性和音响性兼得的 6A3 ◎杨仰秋（248）

实用二分频音箱制作两例 ◎赵广林（250）

200W 超平衡功率放大器的设计与制作 ◎吴自文（253）

制作高保真耳机放大器——对于 47 耳放的完美改进 ◎林伟淏（262）

玩转老功放之纵向比较篇（上） ◎梓门（269）

实用音响技术入门与提高

集成运放在音频电路中的应用 ◎薛国雄（274）

重温经典器件 品尝 1875 韵味 ◎梁文志（277）

话说音响中的电容校音 ◎ Sky kwong（280）

我的 LM4780 功放制作实战 ◎任杰（283）

灵活优雅的迷你精灵——E5 多媒体音箱（套件） ◎韩镄（288）

打造精品 Audio 功放 ◎平常（291）

2.1 多媒体音响设计与制作 ◎曾当兵（299）

一款旗舰级 813 单端甲类胆机的制作 ◎松贵年（302）

玩转老功放之纵向比较篇（中） ◎梓门（306）

第九届音响 DIY 大赛获奖作品

一款 805 单端甲类功放的设计制作 ◎松贵年（309）

我的改进型 50W B 类 AMP 诞生日志 ◎梁文志（314）

玩转老功放之纵向比较篇（下） ◎梓门（318）

精品套件制作全过程 X-60 功放 ◎方梁（322）

从低音炮功放板改全频说起 ◎梓门（326）

电子管 6N1 作整流管应用一例 ◎陈永新（331）

我的“纯真”——众里寻她千百度 ◎卢世昌（332）

CONTENTS

制作铝带话筒 ◎姜韬（336）
“A10”的诞生—— 一部功放整机的设计制作 ◎杨宇洸（341）
纯真甜美、清爽迷人—— 一款 6J8P 前级放大器
◎松贵年（346）
玩转老功放之中高端产品篇（上） ◎梓门（349）

特别策划

起居室中的 Baja 遥控小车 ◎约翰·姆顿 译言 译（352）
时刻准备着——应急电子装备纵览 ◎杨法（BD4AAF）（360）
一起去看 IIC ◎王丰硕（364）
与时俱进的业余电台 ◎聆听（367）
第 77 届中国电子展深圳特别报道 ◎王丰硕（372）
FLL 机器人世锦赛中国公开赛成功举办 ◎本刊记者（374）
带你走近 FLL 机器人世锦赛
——知春路乐高活动中心队专防 ◎叶侨（376）

我的实验室

小型电子工作室仪器选购
老生常谈万用表 ◎杨法（BD4AAF）（380）
选对示波器 ◎杨法（BD4AAF）（385）
认识示波器探头 ◎聆听（390）
揭秘拖线板插座 ◎聆听（394）
小型电子工作室仪器选购
如何配置可调直流稳压电源 ◎杨法（BD4AAF）（399）
认识衰减器 ◎齐迈图（403）
小型电子工作室仪器选购
选对信号发生器 ◎聆听（407）
实用的 LCR 便携式数字电桥——同惠 TH2822C
◎杨绪业 林捷（412）
晒晒我的实验室 / 工作室
实验室里的幸福生活 ◎刘天龙（414）
MSP-3031/3033 可调直流稳压电源实测
◎《无线电》测试室（418）
详解公众对讲机 ◎聆听（421）
晒晒我的实验室 / 工作室
小制作的诞生地 ◎臧海波（425）
小型电子工作室仪器选购
谈谈频率计的选择 ◎杨法（BD4AAF）（429）

广播好爱者

德生 PL-660 收音机试用手记 ◎张建雄（434）
怎样使二手收音机焕然一新 ◎陈祖德（438）
来自丹麦的收音机——BEOLIT 505 ◎陈祖德（440）
国产十大台式电子管名机（8）——牡丹 911
◎陈汉燕 徐蜀（442）
跨越经典——TECSUN PL-660 与 SONY ICF-SW7600GR
对比评测 ◎陈平（445）
一款值得收藏的便携式半导体收音机
GRUNDIG SATELLIT 6001/210 ◎陈祖德（450）
一款值得收藏的名机——BRAUN T1000 ◎陈祖德（452）
山进新秀——ATS-909X 收音机的使用感受 ◎邱志强（454）
国产精品春雷 3T3 型晶体管收音机 ◎陈汉燕 徐蜀（459）
晶体管收音机中的巨无霸——SONY CRF 230 ◎陈祖德（462）
20 世纪 60 年代国产晶体管收音机的佼佼者——熊猫 B801
◎陈汉燕 徐蜀（465）
一款值得收藏的名机——SONYTR-741 ◎陈祖德（468）

维修帮手

自己动手检修电脑控制消毒柜 ◎王绍华（470）
夏普投影机自动保护停机故障检修一例 ◎霍汉明（471）
自己动手修复电磁炉线圈盘 ◎刘福胜（472）
万利达电磁炉自动关机故障的检修 ◎季成荣（473）
问与答 （474）
自己动手检修电饭煲 ◎余俊芳（475）

2011年合订本（上）目录

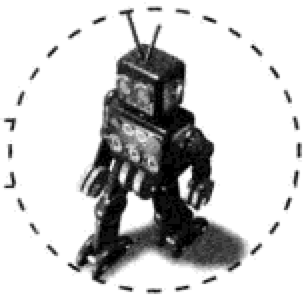
CONTENTS

一个二极管损坏引发的数字卫星接收机故障 ◎霍汉明（477）
问与答（478）
自己动手维修松下吸顶灯 ◎于永泉（479）
自己动手维修声光控LED灯 ◎王绍华（480）
将暖风机的手动关机改为自动关机 ◎陈清友（482）
问与答（483）
宏基液晶显示器电源电路的检修 ◎王忠诚（484）
自己动手检修九阳电磁炉 ◎于永泉（487）
给鼠标换“口位” ◎刘福胜（487）
问与答（488）
瞬间停电损坏液晶电视的检修小记 ◎刘福胜（489）
自己动手检修饮水机 ◎余俊芳（490）
硬盘引导文件出错引起的系统故障 ◎张梦宁（491）
夏普投影机电源系统的故障检修 ◎霍汉明（491）
U盘的维修 ◎张红梅（492）
问与答（493）
自己动手检修自动温控淋浴器 ◎王绍华（494）
电子书“屏损”巧更换 ◎刘福胜（497）
问与答（498）

初学者园地

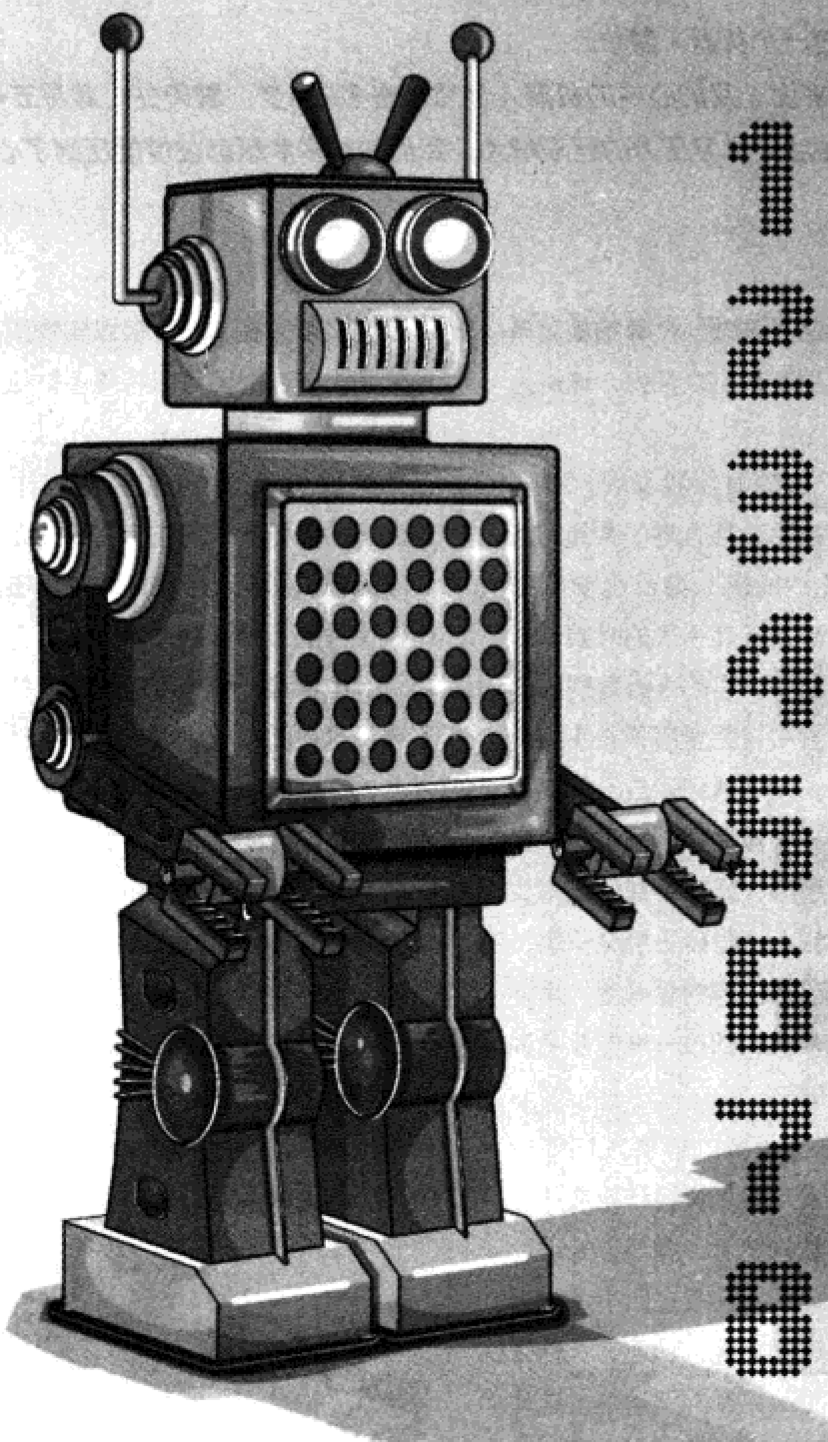
实用音响技术入门与提高
浅谈集成运放——基础知识 ◎薛国雄（500）
短波传播的奥秘（503）
“小枪”的信号传播 ◎刘璞（BA7JS）编译（504）
常用元器件的识别与使用（20）
“以弱控强”的电磁继电器 ◎张晓东（506）
短波传播的奥秘
太阳辐射如何影响短波传播 ◎刘璞（BA7JS）编译（510）
如何检测和使用电磁继电器 ◎张晓东（513）
电子电路仿真和设计软件——Proteus简介 ◎李文卿（516）
常用元器件的识别与使用（21）
灵敏可靠的干簧继电器 ◎张晓东（521）
如何使用干簧继电器 ◎张爱迪（524）
封装的世界（上） ◎杜洋（526）
短波传播的奥秘
太阳数据与地磁数据 刘璞（BA7JS）编译（533）
封装的世界（下）☆ ◎杜洋（536）
常用元器件的识别与使用（22）
没有触点的固态继电器 ◎张晓东（540）
电子电路仿真和设计软件——Multisim篇 ◎李文卿（543）
天籁之音 人类美好的追求（1） ◎姚宗栋（546）
常用元器件的识别与使用（23）
通断自如的机械开关 ◎张晓东（548）
愿周海婴（BA1CY）前辈一路走好！ ◎童效勇（BA1AA）（553）
短波传播的奥秘
传播的路径 ◎刘璞（BA7JS）编译（554）
如何检测与使用固态继电器 ◎张晓东（557）
铝材在机器人制作中的使用 ◎李伟（560）
常见机器人竞赛简介 ◎胡泊（564）
天籁之音 人类美好的追求（2） ◎姚宗栋（568）
短波传播的奥秘
信号强度与噪声 ◎刘璞（BA7JS）编译（570）
好书推荐
滤掉某些频率分量——摘自《身边的电子学》
◎ Charles Platt 著（572）

注：加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。



机器人来了

编前语：智能小车、机械臂、循线、避障、人形机器人……近年来，有关机器人的种种概念成为越来越多爱好者关注的话题，机器人爱好者逐渐走到众多爱好者群体的台前，他们被这项充满机电魅力的活动吸引，在机器人DIY的实践中不断探索，分享乐趣。本刊邀请了机器人天空网站的胡泊站长和几位爱好者组织撰写了本期关于机器人爱好的专题。希望本期专题能帮助你认识机器人，爱上机器人。



1 我与机器人爱好

2 从小车开始你的机器人爱好之旅

3 制作机器人该用什么单片机

4 制作机器人常用传感器盘点

5 谈谈机器人的安装

6 日本爱好者制作的微型循线小车

7 我的机器人制作体验

8 机器人爱好者如是说

特别策划

我与机器人爱好

◎胡泊

每一个人心中或许都有过一个机器人梦想。

对于我们80后这一代人来说，我们心中的机器人梦想就是多啦A梦、擎天柱、霹雳五号、阿拉蕾……随着年龄的增长，生活、学习压力的逐渐增大，我们的很多梦想都被慢慢压到了心底。

很庆幸，我考上了一所机器人项目开展得比较好的大学，很幸运地获得了参加全国机器人大赛的机会，组织学校的机器人活动，大学的几年忽然又和机器人分不开了。

毕业后来到南京，做着一份和机器人不相干的工作，这时我才发现，自己似乎离不开机器人制作这个爱好了。怀念那种自己编写代码，让一个无生命的东西变得有生气的感觉。由于条件有限，刚毕业时，我多是在网上为一些参加机器人比赛的朋友出出主意，关注网络上机器人制作的资源，后来，由此认识了同在南京的几个机器人爱好者，大家都想为国内的机器人爱好者做点什么，于是在2006年便有了机器人天空网站（www.robotsky.com）。

一转眼机器人天空网站已经运行维护了4年多，在这4年中，我们认识了全国各地众多热爱机器人技术的朋友，像早期的网友留心、肉粑粑、wen2xiao1、yiyix……还有后来的hym523、yunkangliu、刘天龙等，有我叫得上名字的，也有许许多多我叫不上名字的。虽然有人离开，却总是有更多的人进来，这一切给了我莫大的信心，使我一直坚信个人机器人事业必定大有可为。

但同时也有一个问题一直在困扰着我：每天来浏览机器人网页、学习知识的人很多，真正动起手来做一个哪怕最简单的机器人小车的朋友却少之又少，这是为什么？

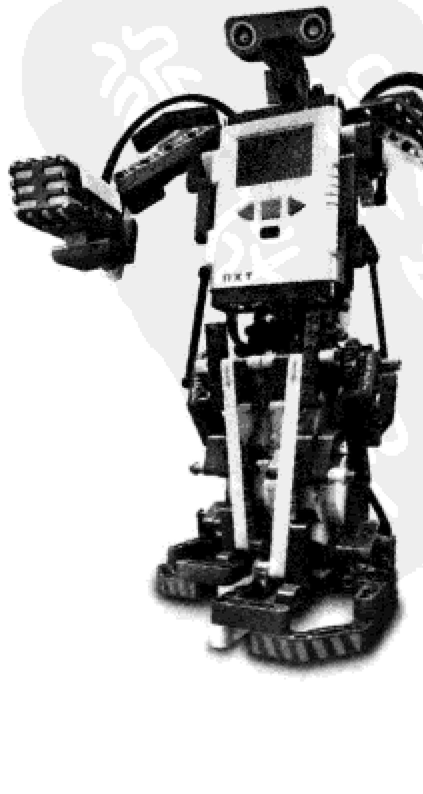
和网友们交流的时候我发现，很多人都表示机器人技术非常有趣，看到别人制作的机器人能跑能跳，自己也欢欣鼓舞，可等到自己真正动起手来的时候，却发现问题总比办法多。有的人看着别人的电路原理图如坠雾中，完全摸不着头脑；有的人做到一半，发现遇到了自己解决不了的问题，时间一长最后便不了了之；有的人受身边条件所限，想动手却什么都买不到，时间、金钱……障碍一层又一层。特别是一些非理工科出身的爱好者，满怀着儿时的机器人梦想，却被一堆专业名词将梦想击得支离破碎。

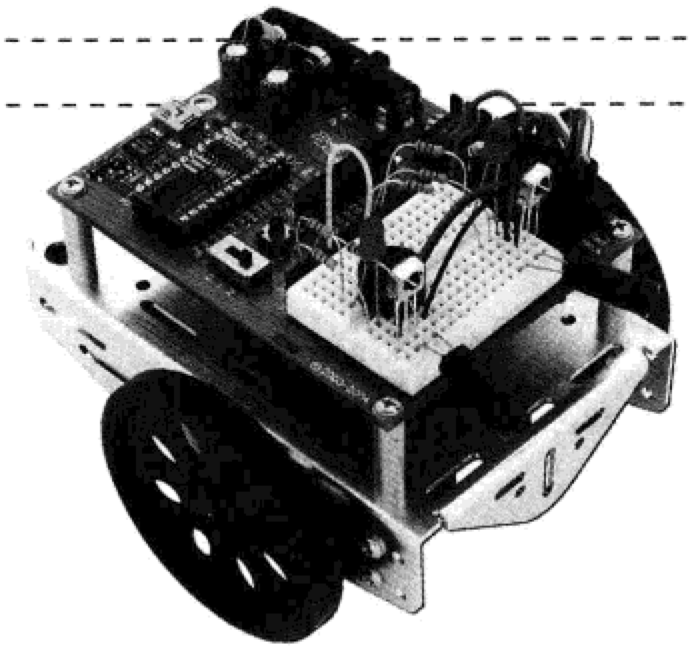
我也曾浏览过很多的机器人制作相关资料和书籍，发现很多资料和论文还带有很浓厚的大学教材气息，满篇都是理论概念和抽象的原理图，许多东西啃了半天弄明白了它的原理和功能，却连它长什么样子、可以到哪里购买都弄不清楚。这让很多知识结构不够健全的朋友完全不知该如何下手，最后的感觉就是，画张图纸简单，做个实际的东西却是难于登天。

意识到这个问题以后，在维护机器人天空网站的过程中我便有意识地去搜集、翻译、原创了一些适合初学者的图文并茂的文章，在文章中多以实物图为主，抽象图为辅，力图可以将更多徘徊在门外的爱好者拉进门里面来。

这次与《无线电》杂志合作，共同推出一期以机器人制作为主题的专题，把几年来在机器人天空网站上涌现出的一些比较优秀的机器人制作入门文章整理在一起，以飨读者。希望可以有更多的人投入到哪怕是最简单的机器人制作活动中来，那么也不枉此次专题中收录的那些文章作者们的辛勤劳动了。

我曾在一篇文章的结尾处这样写道：“我们的作品基本上不会有什么科技价值，也不会填补什么技术空白，有些自娱自乐。不过我想，当更多的人——尤其是学生，以制作机器人作为一种娱乐项目的时候，应该也是一件令人高兴的事吧”。与大家共勉！





从小车开始你的机器人爱好之旅

◎胡泊

很多初学者可能都是看了一些机器人的视频或现场比赛，无论是“奥特曼”、“大黄蜂”，还是近年的“WALL-E”，往往都会勾起我们儿时的美好回忆，也会激起自己动手制作机器人的念头。但很多人可能并不是嵌入式开发的业内人士，甚至没有听说过单片机、步进电机这些名词，看着别人制作的满地乱跑的各种机器人，颇有无处下手的感觉。有的人一开始就准备做一个双足人形机器人，可以稳步行走，可以靠摄像头来读取环境信息，可以语音识别，当然，最好还可以变形……

作为一名机器人爱好者，我中肯地提出建议：从小车开始你的机器人爱好之旅吧。人形机器人可以说是一个系统的大工程，不是一个人玩得起来的，而且资金上的投入也是不可计量的。一个人形机器人的成型产品最少需要几千元才能买到——这还不包括机器人产品在开发过程中可能出现的种种错误导致的额外成本投入。而机器人小车就不同了，在技术上门槛较低，资金投入也少，市场上的各种产品和零配件的支持也较多，虽然简单，但可以实现的功能可一点也不少，是我们进入机器人天地非常合适的入门工具。

本文中，我们以机器人小车为载体，来解读机器人的一些基础知识。如果你是曾经自己动手做过机器人的高手，那么可以绕行。

小车的整体控制系统

小车是如何控制的？为什么小车判断出障碍物后可以自动绕开？为什么小车可以“听话”地按照路线行进？要解答这些问题，我们先来了解两个概念。

闭环控制：指由信号正向通路和反馈通路构成闭合回路的自动控制系统，又称反馈控制系统。反馈控制系统可以使系统的精确度提高，响应时间缩短，适合于对响应时间和稳定度要求高的系统。

开环控制：是最简单的一种控制方式，是指受控客体不对控制主体产生反作用的控制过程。开环控制没有反馈环节，系统的稳定度不高，响应时间相对来说很长，精确度也不高，通常使用于对系统稳定性、精确度要求不高的简单系统。

一般稍微复杂一点的机器人小车都采用闭环控制，也就是说有一个反馈机制，会根据自己配备的各种传感器来读取环境信息，并且根据这些环境信息来决定自己下一步的行动，再将行动指令发给执行系统，使机器人小车做出合适的动作。当然也有的机器人小车采用开环控制方式，我就见过一个机器人小车，配了一支笔，将小车放在纸上，小车一转，刷地一下就在纸上画出一个圈来。当然，由于摩擦力和机械误差等原因，画出来的圆圈可能不闭合，也可能不圆，不过人家阿Q都说了：“孙子才画得圆呢……”。

有点迷糊？没关系，其实简单一点说：机器人可以分为三部分——传感器部分、控制器部分和执行器部分。

在传感器部分，有机器人用来读取各种外部信号的传感器，以及控制机器人行动的各种开关。好比人的眼睛、耳朵等感觉器官。

控制器部分用于接收传感器部分传递过来的信号，并根据事前写入的决策系统（软件程序），来决定机器人对外部信号的反应，将控制信号发给执行器部分。好比人的大脑。

执行器部分让机器人可以完成各种动作，包括前进、后退、左转、右转、点亮发光二极管、发出声音等，并且可以根据控制器输出的信号调整自己的状态。对机器人小车来说，最基本的执行器就是轮子。这部分就好比人的四肢一样。

好的，现在我们来分析一下机器人小车的避障行为控制。机器人小车正在行走过程中（人在路上走），忽然接收到装在小车前部的传感器发来的一个“左前方有障碍物”的信号（人眼发现左前方有一根电线杆），我们事先写在机器人控制芯片中的程序算法要求机器人发现左前方有障碍物就往右边转（人发现左前方有电线

电影《机器人总动员》中的机器人小车WALL-E

杆就应该往右躲——什么，你还要继续往前走？你牛！那我就等着听响了，哦，原来你只是想去看上面的小广告……），控制芯片对小车的驱动器——轮子——发出向右转的指令（人大脑发出向右转的指令，通俗点说就是“拐了、拐了”），此时机器人的执行器部分应该立即响应控制器的指令，改变自己的状态，使机器人的前进方向改变，以避开障碍物（恭喜你，躲开了电线杆）。

怎么样，是不是有了点机器“人”的意思？

那么这三部分是怎么联系起来的呢？很简单：电！机器人小车就是一个电子作品，传感器将外部的光信号、声音信号、温度信号等全部转换为控制部分可以接收的电信号，控制系统发出的指令也是各种电信号，通过执行部分转变为电机输出的扭矩、声音、光信号等。

下面我来分别介绍一下这3个部分。

1. 传感器部分

传感器是机器人的眼睛，想要小车完成不同的任务就要配备各种不同的传感器。

电子市场上林林总总的传感器数不胜数，通常机器人爱好者最经常使用的传感器有碰撞检测传感器（碰撞开关）、红外测障传感器、红外测距传感器、光敏电阻、电子温度计、电子指南针等。

机器人用的传感器返回的信号分两种：一种返回值很简单，只有两个状态：“有”或者“没有”、“是”或者“不是”、“0”或者“1”。我们一般习惯把这种量称为“状态量”。它所反映的是一种状态，比如“机器人左边有没有障碍物”，“有没有声音信号”等。还有一种返回值，返回的是一个已知范围内任意值，比如，1只光敏电阻返回的信号就可能是0～5V范围内的任意电压信号。我们一般把这种量称为“强度量”。它所反映的是一个有效范围内的强度，比如“机器人左边的障碍物有多远”、“现在的声音信号有多强”等。

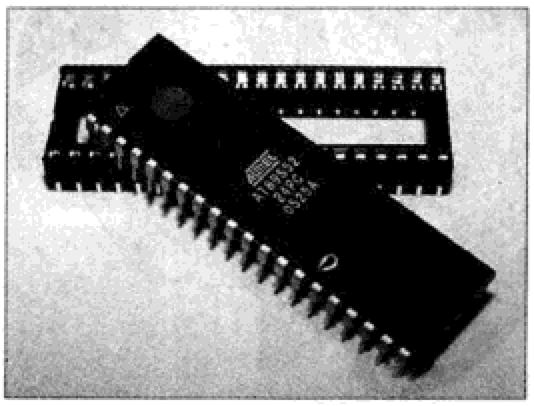
“状态量”反映的信息较简单，相应的传感器也较简单，成本较低。而“强度量”反映的信息较丰富，相应的传感器的成本就会比较高，同时给控制上也带来了更大的灵活性和复杂性。

对于传感器，很多人觉得只要看看相关技术文档，知道怎么用了就行。但我的建议是：不但要知道怎么用，还要知道其检测原理。只有深刻地理解了传感器的检测原理，才能具有更好的发散思维。

举一个例子：当初笔者在学校参加机器人灭火比赛，我们用了厂家提供的地面灰度传感器，依靠可见光反射来检测地面白线，效果一直不是很理想。后来有同学仔细研究了当时电机上配备的光电编码器，发现其原理就是利用红外线在不同颜色表面上的反射率不同，检测高速旋转的电机上黑白相间的码盘，来测出电机的旋转速度的，于是就动手将光电编码器上的红外检测模块拆下来，装在机器人底部，用来检测地面白线，检测效果一下子好了很多。

再说说传感器的购买途径。各地的电子市场或是网上商店都可以买到一些常用的传感器（现在很多机器人商家都有各种各样的传感器提供，其实原理和适用范围都差不多，很多都可以互换通用）。购买时需要注意的是传感器的电压范围和有效范围。

至于软件，说白了就是你自己给单片机设计的指令程序，让机器人可以具有最简单的智能。不要看到“智能”这两个字就觉得多么高深，看到前面有电线杆知道要拐，这，就是智能。



单片机可以作为机器人的控制芯片

说到机器人传感器的“终极开发”，图像识别算一个，依靠一只摄像头，根据摄像头返回的视频信号，计算出各个不同物体距自己的距离，并调整相应的运动速度和方向等。如果你可以跨过这一步，那么，有一门叫做“机器视觉”的学科大门也就向你敞开了。

2. 控制器部分

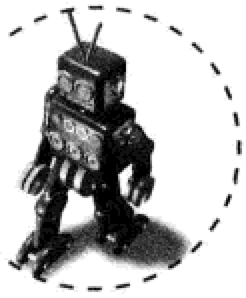
适合机器人的控制芯片有很多，单片机、DSP，甚至我们计算机上所用的CPU，都可以。不过我们这里主要介绍针对机器人小车的技术，所以其他的先放一放，让我们把注意力放到物美价廉的单片机上来，小芯片有大智慧。

首先还是理论课，不要抱怨，我的信条是：不懂理论的开发者永远只能是一个拼装师。

单片机又称单片微控制器，它不是完成某一个逻辑功能的芯片，而是把一个计算机系统集成到一颗芯片上。概括地讲，一颗芯片就成了一台计算机。它的体积小、质量轻、价格便宜，为机器人学习、开发和应用提供了便利条件。

单片机是自动控制系统中应用非常广泛的控制芯片，在我们身边的许多电器中都有单片机的身影。想自己动手制作机器人的话，相应的单片机知识是必不可少的。

系统的单片机知识我这里不想多说，单片机不同于其他电器，拿过插头直



接插在电源上就可以使用。一块空白的单片机想要使用，还需要一些其他的电路来支持。一般来说，最基本的电路就是单片机最小系统，它是可以让单片机工作起来的最基本的电路。在所有的单片机系统中，你都可以找到类似的电路。至于它的原理，这里就不赘述了。

单片机最终需要程序来控制，一般都是在PC上编写好程序，通过下载线来下载到单片机中执行。下载需要一个电路来支持，以前的通常做法是连接到PC的串口，不过现在有很多通过USB下载程序的电路。

机器人开发除了需要最基本的单片机电路，其他还需要一些电机驱动、A/D转换、开关选择等电路。

也许你感到有一点棘手了，这些电路对于一个从未接触过单片机的新手来说可能有些头大，没关系，现在市场上有很多成熟的单片机开发系统出售，价格极为低廉。如果不想在底层电路上多花精力的话，到网上搜索一下“单片机开发板”，一百多元就可以买到功能十分齐全，还赠送软件+教程及技术支持服务的适用开发板了（当然，你如果自己动手的话，成本会更低）。

至于软件，说白了就是你自己给单片机设计的指令程序，让机器人可以具有最简单的智能。不要看到“智能”这两个字就觉得多么高深，看到前面有电线杆知道要拐，这，就是智能。

不同的单片机需要不同的开发环境，这个要在购买的时候就弄清楚，很多单片机公司都有自己配套的开发软件，不少都是可以在公司网站上免费下载的。一般来说，国外的很多芯片公司在自己的网站上都有非常丰富和适用的资料，抱本英汉词典，将网站上的资料浏览一下，你会发现，一切都将变得十分简单。

以前一说起单片机开发，我们就会想到汇编语言，那时候的芯片成本很高，芯片的运算开销和存储开销都要精打细算，高效率的汇编语言是单片机的最佳选择。而现在，随着芯片成本的降低，开销问题已经不再是制约单片机程序开发的瓶颈，所以很多类C或BASIC语言的开发环境都已经出现。只要有一定的程序开发基础，对单片机的各种引脚足够熟悉，那么写出一个简单的智能程序就不是难事。

现在单片机的价格已经十分低廉，价格上无需考虑太多，关键是要选择一款合适的、资料较多、容易上手的。就机器人开发来说，要满足以下几个条件：有程序下载线，可以方便地将程序从PC上下载到单片机上；集成了A/D转换；有PWM输出（便于控制电机）。

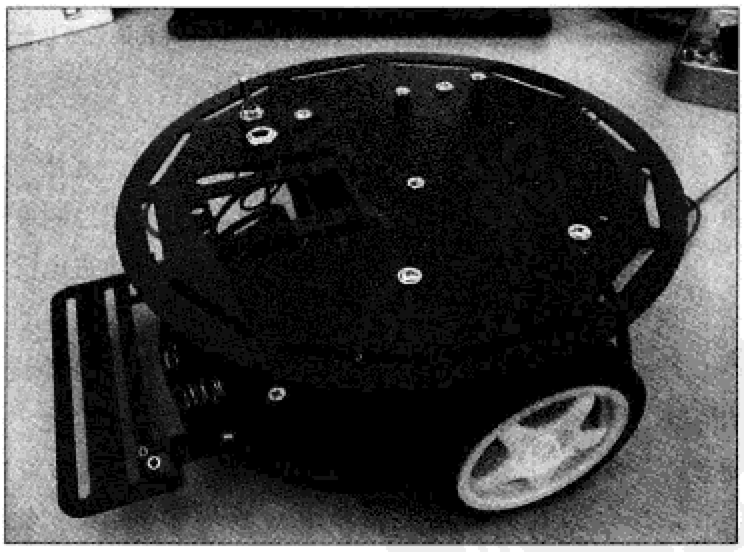
当然，单片机终究能力有限，想要做一些运算量较大的应用（如音频、视频的处理）时，就需要一些更高端的芯片，比如DSP等，或者干脆把你的电脑机箱加上几个轮子，让你的电脑跑起来吧！

相关名词：C51、PIC、AVR、PWM……啥意思？自己搜去！

机器人小车就是一个电子作品，传感器将外部的光信号、声音信号、温度信号等全部转换为控制部分可以接收的电信号，控制系统发出的指令也是各种电信号，通过执行部分转变为电机输出的扭矩、声音、光信号等。

3. 执行器部分

对于机器人小车来说，最基本的执行器部分就是轮子。要有轮子，小车才能被称为小车。这部分可能也是各位爱好者最发愁的部分，传感器和控制器到处都有卖，而一般适合机器人小车上用的轮子、机械结构、车体等部分却很难寻觅。找人订做成本极高，现在很多朋友都用玩具小车来进行改装。其实现在已经开始有机器人小车底盘出售，不过在电子市场很难见到，在一些教育机器人公司的网店里可以购买到。

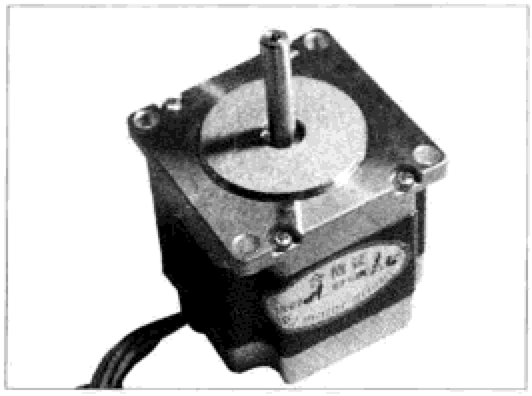


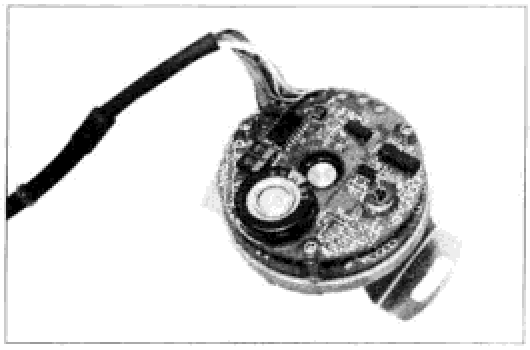
机器人小车的车体

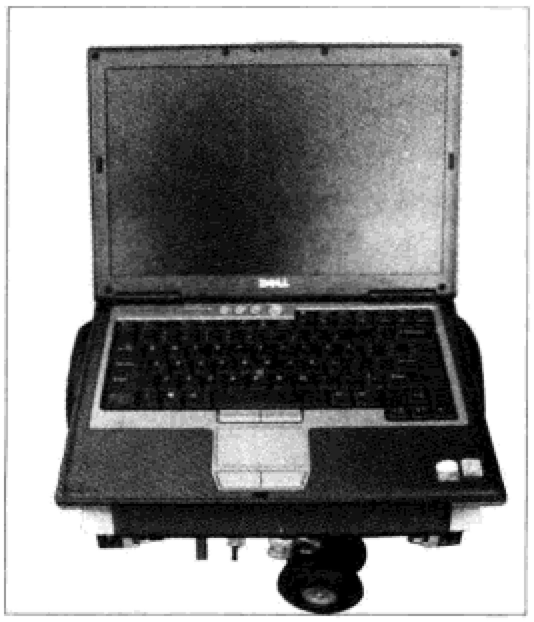
说到轮子，就不得不提到电机，那是机器人的“发动机”。 机器人常用的电机分为三种：普通的直流电机、步进电机和伺服电机。

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响。给电机加一个脉冲信号，电机就转过一个步进角。这一线性关系的存在，加上步进电机只有周期的误差而无累积误差等特点，使得在速度、位置等机器人控制领域，用步进电机来实现相应控制，变得非常简单。

伺服电动机又称执行电动机，在自动控制系统中，用作执行件，把所收到的电信号转换成电动机轴上的角位移或角速度输出。分为直流和交流伺服电动机两大类，其主要特点是，当信号电压为零时


步进电机

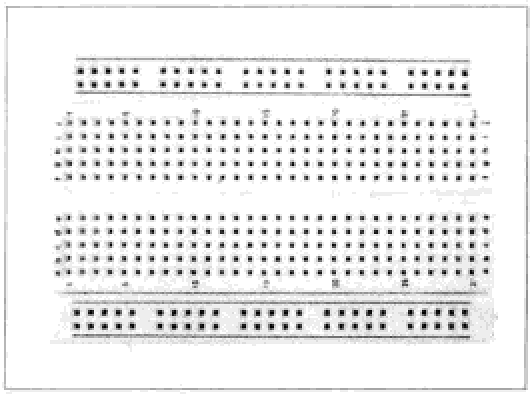

伺服电机

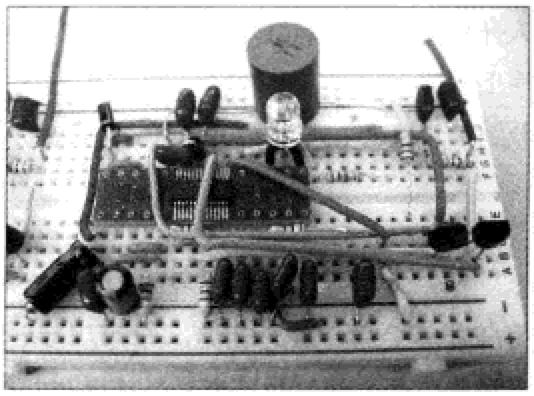

国外爱好者用笔记本电脑制作的移动机器人

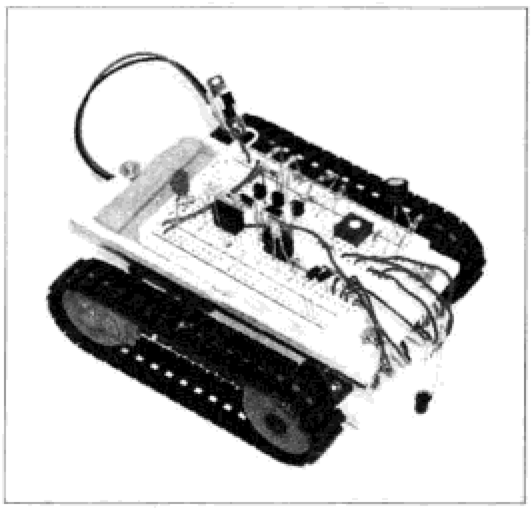
无自转现象，转速随着转矩的增加而匀速下降。

一般来说，这三种电机的成本排序是：直流<步进<伺服，控制精度排序是：直流<步进<伺服（当然也有不一般的时候，有时伺服电机不一定比步进电机便宜）。

初学者对单片机控制电机不太熟


面包板


面包板可以方便地修改电路


用面包板也能做出机器人小车

悉，起步可以先用单片机输出的PWM信号来控制直流电机，更进一步可以试着控制步进电机，以求更高的控制精度。对于小车的运动驱动来说，一般可以选用直流电机或步进电机，而伺服电机一般用在机械臂上，用来得到精确的旋转角度。

通常单片机要通过驱动电路来控制步进电机、伺服电机。有专门的模块来负责驱动电机，单片机只需要为这样的模块提供一定频率的脉冲和控制信号就可以了。网上相关的资料很多，大家需要的话可以自己去找一下。

各种电机可通过电子市场、五金商店、网购、旧家电等途径买到。

当你可以自如的控制机器臂的时候，你就会发现，一个类人机器人将不再遥远。

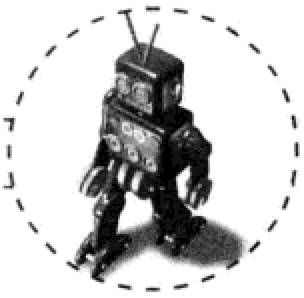
其他的常用驱动装置还有机械臂、机械手等，装在小车上去抓取东西。可以自己利用伺服电机开发（初学者最好绕行），也可以选择市面上的成型产品，这些产品一般都有完整的文档，仔细阅读，使用起来都是很方便的。

后记

最后再介绍一点电子电路开发的东西吧。提起电路，可能很多朋友首先想起来的就是墨绿色的印制电路板，现在很多电子市场都可以根据你的电路图为你加工印制电路板。不过在设计阶段，很多东西都会改来改去，每次都去重新制作电路板，效率和成本都是大问题，一般在电路开发中，有一种专门的实验板（也叫面包板），适合在开发阶段使用。

这篇文章的目的只是想让一些对机器人有兴趣而又不知如何着手的朋友知道制作机器人需要哪些知识储备，没有写什么具体的技术，只是将新手可能会感到迷茫的一些问题列出来。想要成为机器人高手，还是需要埋头“啃”一些专业书籍并不断动手实践。学习没有捷径，如果你走了捷径，那只能说明你比别人少看了风景。

希望能有更多的朋友加入到机器人开发的行列中，如果更多的人——尤其是学生，以制作机器人作为一种娱乐项目，应该也是一件令人高兴的事吧，呵呵。

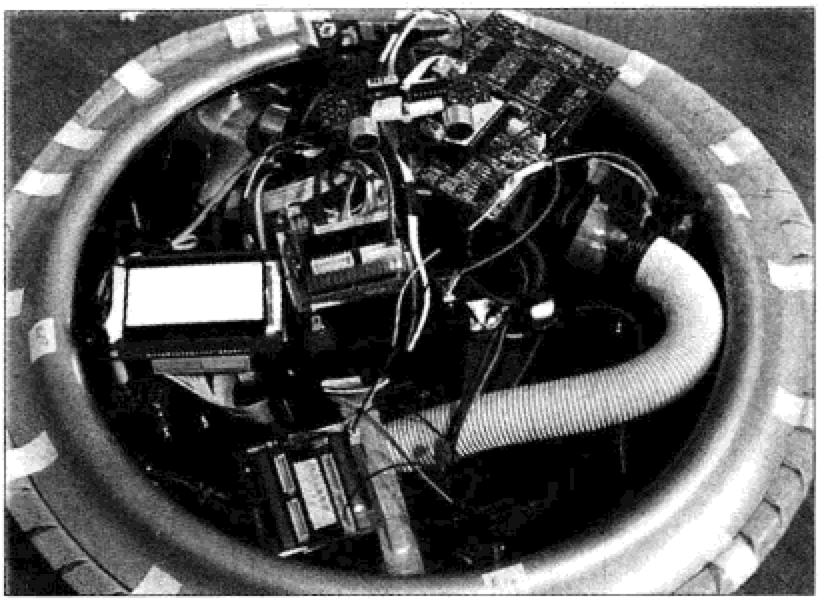


制作机器人该用什么单片机

◎刘天龙

很多接触机器人不久的朋友面对种类繁多的单片机常会感到困惑，到底它们之间有何不同?制作机器人用哪种单片机控制比较好？我与大家分享我在制作机器人过程中使用单片机的一些经验，希望能让初学者少些迷茫，让已经入门的朋友思维开阔。

写本文时我仅有3年单片机实践经验和机器人制作经验，比较了解51系列和AVR系列单片机，本文中，我会着重讨论AVR单片机，都是我在机器人制作中一些切身体验，错误和偏颇可能难免，希望大家指正！



笔者用AVR单片机做的吸尘机器人

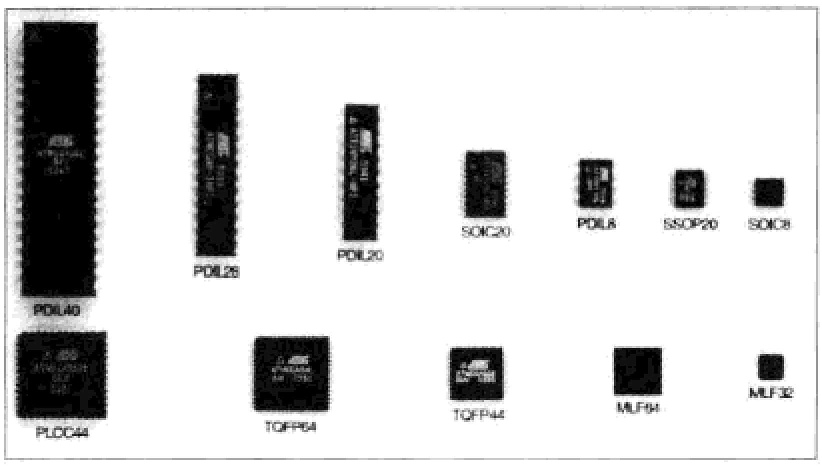
入门首选 AT89S51系列单片机

AT89S51 适合做单片机学习板、电子时钟、超声波测距仪等不需要采集模拟量和控制大功率外部元件的电路。S51与过去的C51的区别在于，S51支持ISP在线编程，即C51需要几百元的编程器编程，而S51仅需一条25针并口线和非常简单的转换电路，接在台式电脑打印机接口上，通过电脑中烧写程序的小软件，即可实现对S51单片机编程。从这一点看，AT89S51是制作机器人控制部分的入门之选。

爱好者制作机器人首选 AVR系列单片机

AVR单片机是1997年由ATMEL公司研发出的增强型内置Flash的RISC精简指令集高速8位单片机，具有高可靠性、功能强、高速度、低功耗等特点。AVR单片机比51单片机的运行速度快得多，其内部还集成了多路A/D转换器、电压比较器、ISP、I^2C、JTAG总线电路、UART串口、大功率I/O口、看门狗等实用电路，并且很多AVR单片机型号有EEPROM、FLASH、SRAM三种存储器，可以实现实时修改程序存储器中的内容，即AVR单片机可以自己修改自己的程序。同时，AVR单片机一般能工作在宽电压范围（2.7~6.0V），有的居然可以在1.8V电压下工作。虽然以上这些性能只是AVR众多性能中的一部分，然而已经让51系列单片机望尘莫及了。

如此高性能的单片机，价格居然和51单片机差不多，比如ATmega8价格为8元左右，ATmega16在13元左右，这是AVR有极高性价比的真实写照。



AVR单片机的各种封装形式

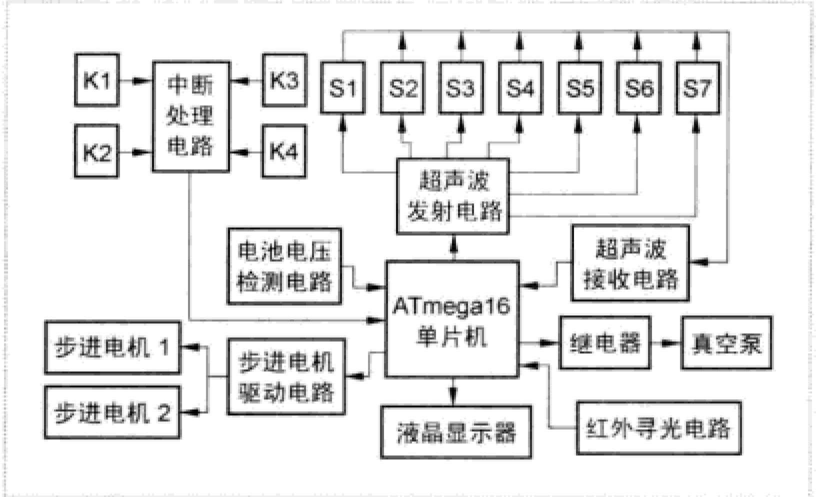
AVR 家族人丁兴旺，包括 ATinyAVR（微小型），低功耗类，ATmegaAVR 高、中、低档 5 类单片机。它们都基于同一核心技术，只在内部集成的电路多少上有所不同。不论你要做电子手表，还是进行视频处理，都有一款合适的 AVR 单片机能满足你的需要。

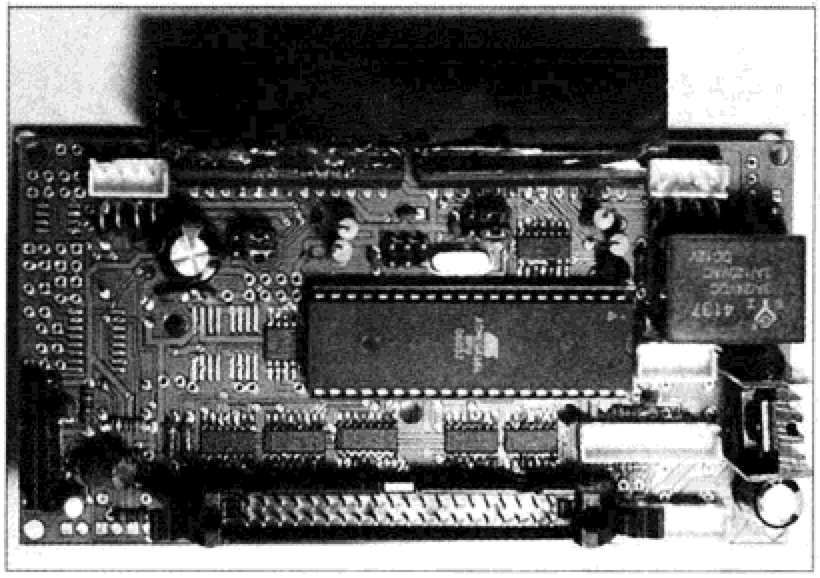
AVR的I/O口能输出20mA和吸收40mA的电流，不仅可直接驱动LED，甚至可直接驱动微型直流减速电机，而且AVR的I/O口可编程设置成输入、输出、高阻态，是真正的3态I/O口。

根据任务具体需要，选择最合适的单片机，使单片机资源充分利用，系统性价比达到最高，同时兼顾未来扩展要求，不要一味选用高性能单片机，这就是单片机的选型原则。

高级机器人控制器 ARM

ARM是一个公司名，他们基于同一内核设计了很多高性能处理器，这些处理器都叫ARM。该技术被很多公司购买后生产出了集成很多功能电路的ARM芯片，使得ARM成为高性能单片机。





吸尘机器人的控制电路板

ARM一般为32位单片机，适于处理大量复杂数据，很多ARM装上了UCOS2、Windows CE、Linux操作系统，能够同时运行多个程序。ARM广泛应用于手机、MP3、GPS导航仪、吸尘机器人等产品上。

用ARM+操作系统做超声波测距仪——杀鸡用了牛刀，用AVR中档单片机做机器视觉——有些吃不消。如果把它们调换一下，一切就恰到好处了。

音频/视频处理首选 DSP

数字信号处理（Digital Signal Processing，简称DSP），是一种独特的微处理器，是以数字信号来处理大量信息的器件。其工作原理是接收模拟信号，转换为0或1的数字信号，再对数字信号进行修改、删除、强化，并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性，而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序，远远超过通用微处理器，是数字化电子世界中日益重要的电脑芯片。它的强大数据处理能力和高运行速度，是最值得称道的两大特色。

在高速小车循线、语音识别等领域，DSP被广泛应用。但如果仅用DSP检测几个碰撞开关、控制几个电机，当然会显得大材小用。

新兴控制器 FPGA

FPGA（Field－Programmable Gate Array），即现场可编程门阵列，是在PAL、GAL、CPLD等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为专用集成电路（ASIC）领域中的一种半定制电路出现的，系统设计师可以根据需要通过可编辑的连接，把FPGA内部的逻辑块连接起来，就好像一个电路试验板被放在了一个芯片里。简单说，如果使用者想开发一个用简单数字逻辑电路就能控制的小车，又嫌搭电路麻烦，他就可以用软件给一个FPGA编程，让它实现数字电路功能，去控制小车。也就是说，FPGA可被用来模拟各种电路，有的FPGA甚至能模拟51单片机的运行。由于FPGA通过编程即可修改它模拟的电路结构，因此在系统实验、调试中很方便，很多爱好者正在尝试用FPGA做机器人控制器。

更多可供选择的单片机

我们在为机器人选择一款单片机前，首先要考虑自己面对的实际任务需要什么性能的单片机。此时我们要考虑不同单片机的“应用广泛程度”，比如，当我们要做一个电子大赛智能小车，有AVR单片机和PIC单片机可满足任务需要，如何在两者中作出选择，需要考虑哪种单片机学起来比较容易、学习资料容易获取、可供参考的程序和案例更加丰富，哪种单片机更容易获得编程软件和下载器等。笔者感觉，要想做智能小车，AVR单片机的资料比较丰富。

世界上有种类繁多的单片机，它们当中绝大多数都可用来控制机器人，但存在一个是否合适的问题。比如，PLC是可编程控制器，当然可以用来控制爱好者手中的机器人，但PLC多用于工业控制领域，设备庞大，价格昂贵，同时不易获得用PLC控制小型机器人的资料。爱好者选择学一种单片机前，首先得明确自己要用单片机干什么，然后再选最合适的单片机学习。学单片机重在学精一两种单片机，如果有人泛泛地学ARM、PLC、PIC、DSP、FPGA等所有有名的单片机，那么他将无法拥有真正的深度开发能力。所谓深度开发，以AVR单片机为例，初学者可以用它实现小灯交替闪烁，中级技术人员可以用它控制参加小车比赛的机器人，而真正的高级开发人员可以用AVR实现机器视觉、无人机自动驾驶、坦克火控系统……

AVR单片机过时了吗？

有初学者甚至中级开发人员认为，因ARM性能比AVR性能高，因此ARM将代替AVR，AVR将退出历史舞台，或者MSP430将

用ARM+操作系统做超声波测距仪——杀鸡用了牛刀，用AVR中档单片机做机器视觉——有些吃不消。如果把它们调换一下，一切就恰到好处了。

代替51系列单片机，或者FPGA将取代所有单片机等。

我个人认为这种看法不对，因为不同单片机都有各自的特点和优点，没有哪种单片机是完美的，在不同场合用最合适的单片机，发挥它们各自的特长，而不存在ARM一统天下，取代所有其他型号单片机的可能性。试想，原本十几元的普通电子表因为采用ARM控制卖到几百元，谁能受得了？因此，不要觉得AVR已经过时，学完51就直接学ARM，或者觉得学51没用，直接学ARM，否则你容易碰壁。

MSP430系列单片机如何？

这个系列的单片机也比较适于机器人开发，是美国德州仪器推向市场的一种16位、具有精简指令集的、超低功耗的混合信号处理器。MSP430系列单片机采用的是 1.8~3.6V 电压，因而可使其在1MHz的时钟条件下运行时，芯片的电流会在200~400μA，时钟关断模式的最低功耗电流只有0.1μA。MSP430系列单片机的各成员都集成了较丰富的片内外设，分别是看门狗、模拟比较器、定时器、串口0/1、硬件乘法器、液晶驱动器、10位/12位ADC、16位Sigma-Delta A/D、直接寻址模块（DMA）、I/O端口、基本定时器等外围模块的不同组合。MSP430 系列单片机的开发工具也比较简便，价格也相对低廉，并且也可以实现在线编程。

PIC单片机如何？

可用于机器人开发，是8位单片机，产品种类丰富，采用精简指令集，有不错的开发环境，引脚驱动能力强，可直接连接继电器控制强电。自带看门狗，有睡眠和低功耗模式，但很多性能不如AVR和MSP430系列单片机。

凌阳单片机如何？

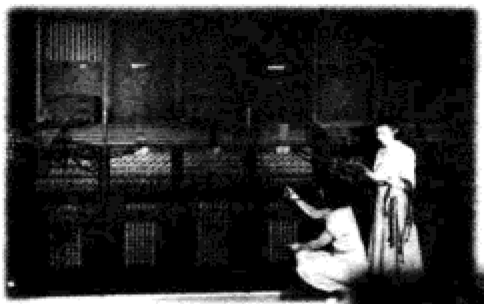
比较适合机器人开发，以16位计算为核心，集成不同规模的RAM、ROM和其他丰富的功能电路，使用者可以根据自己需要选择集成了特定功能电路的凌阳单片机系列。凌阳单片机指令系统提供出具有较高运算速度的16位，16位的乘法运算指令和内积运算指令，为其应用添加了DSP功能，因此更适合进行语音识别。在我国，凌阳单片机在学校比较常见，应用实例较多，可作为机器人爱好者选用的单片机之一。

TIPS

单片机诞生前人们用什么控制机器人

1. 模拟计算机

在数字计算机诞生前，人们用电子管、电容器和电感线圈、电阻搭建模拟计算机，能够完成许多简单的计算和控制任务。所谓模拟计算机，就是其计算采用的信号不是1、0这样的数字信号，而是电压连续变换的模拟信号，类似于自动控制原理中的各种控制器采用的运算。别小看了模拟计算机，20世纪80年代第5次中东战争时，一些国家使用的前苏制全自动自行防空炮就是采用的模拟计算机来实现飞机轨迹的计算，并控制火炮射击目标。



早期模拟计算机

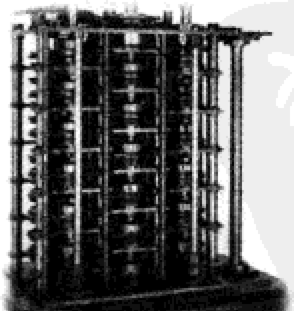
采用模拟计算机的防空炮

2. 齿轮和凸轮组成的控制器

在模拟计算机诞生前，也就是蒸汽机时代，有些机械天才硬是用数百个齿轮和凸轮搭建出机械计算机，人们通过转动印有数字的各种齿轮，另一些齿轮就将运算结果显示出来了。机械计算机在人类史上曾经是高科技产品，第二次世界大战时，德国著名的密码机就是一种机电混合式计算机，它是当时最保密的通信工具。

3. 发条、秒表和继电器组成的控制器

在电气时代开始时，人们用钟表内机械的旋转分时针控制继电器的通断，从而控制一些机床和生产线的运行。这种装置类似于早期洗衣机内的定时器。



制作机器人常用传感器盘点

◎胡泊

机器人小车是很多机器人入门者的制作首选。本文为大家盘点几种机器人小车上常用的传感器及其功能。

用于避障的传感器

避障可以说是各种机器人最基本的功能，因此选择测障传感器是每一个机器人DIYer必须熟知的。

检测机器人前方是否存在障碍物的传感器，可以分为接触式和非接触式的。

最典型的接触式测障传感器便是碰撞开关。碰撞开关的工作原理非常简单，完全依靠内部的机械结构来完成电路的接通和中断。当碰撞开关的外部探测臂受到碰撞，探测臂受力下压，带动碰撞开关内部的簧片拨动，从而电路的导通状态发生改变。通常碰撞开关需要接3根线，一根红色的电源线，一根黑色的地线和一根黄色的信号线（信号线的颜色可能存在不同）。

在机器人小车上的用法多数是将探测臂加长，扩大探测范围和灵敏度。当机器人小车撞到前面的障碍物，碰撞开关的信号端便可返回一个高电平，控制芯片由此可以知道小车面前存在着障碍物。

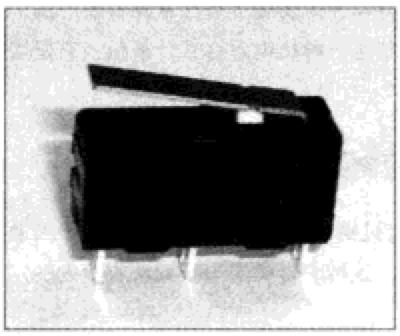
碰撞开关的优点是价格便宜，一般每只零售仅几块钱，使用简单，应用范围广，对环境条件没有什么限制。但碰撞开关也有个最明显的缺点，就是必须在发生碰撞后才能检测到障碍，这在某些机器人比赛中是相当失分的，在某些实际的应用中实用性也会大大降低，而且使用时间较长后，开关容易发生机械疲劳，无法继续正常工作。

非接触式测障开关一般的工作原理与雷达相似，发射某种射线，遇到障碍物，射线被反射回来，并被传感器接收，这时传感器就认为发现了障碍物。我们最常用的便是发射红外线的传感器。

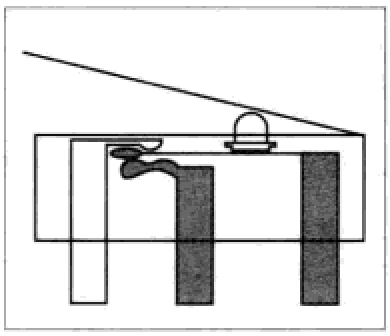
现在网上有成套的红外测障传感器出售，可以直接购买产品使用，也可以自己购买电子元件焊接。

红外测障传感器成本较低（当然比碰撞开关还是要高一点），电路简单，检测范围大，如果在电路中加上一个电位器，就可以随时调节传感器的检测范围。这种检测方式为非接触式，控制起来更加方便、灵活。

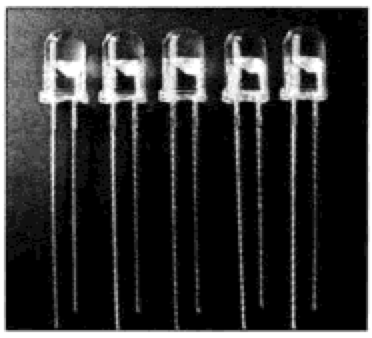
但这种测障方式也有缺点，多个红外传感器之间容易互相干扰，因此在传感器的布局上需要多花心思，安装位置也要尽可能



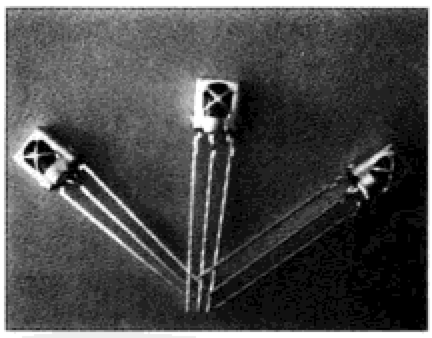
碰撞开关的外形图



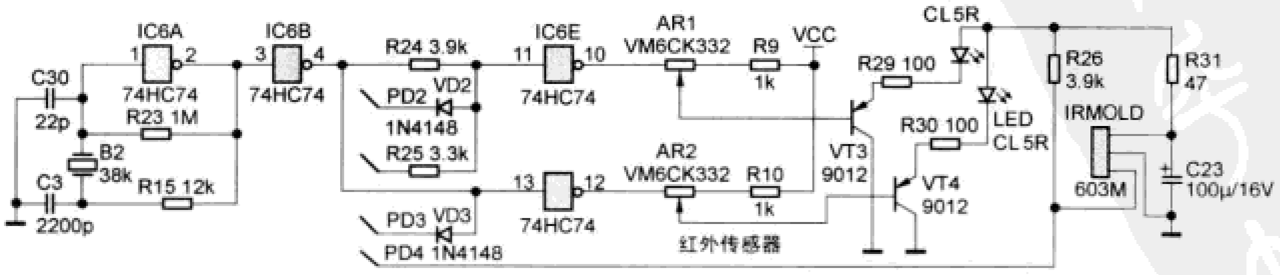
碰撞开关的工作状态图



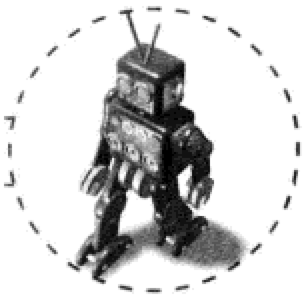
红外发射管外形图



红外接收管外形图



红外测障传感器常用电路



地避免红外信号的碰撞。

用于测距的传感器

在实际制作中，机器人光知道哪个方向上有障碍物并不够，还必须知道障碍物距离自己具体有多远，才好判断下一步的行动。这时我们就需要测距传感器。

测距传感器大多为非接触式的，目前在个人机器人制作领域用得比较多的是红外和超声波测距传感器两种。

提到红外测距传感器，就不能不提夏普的GP2D12红外测距传感器。GP2D12几乎可以说是机器人爱好者的必备传感器，在我们平时常看到的一些个人机器人作品中，绝大多数都可以看到它的身影。

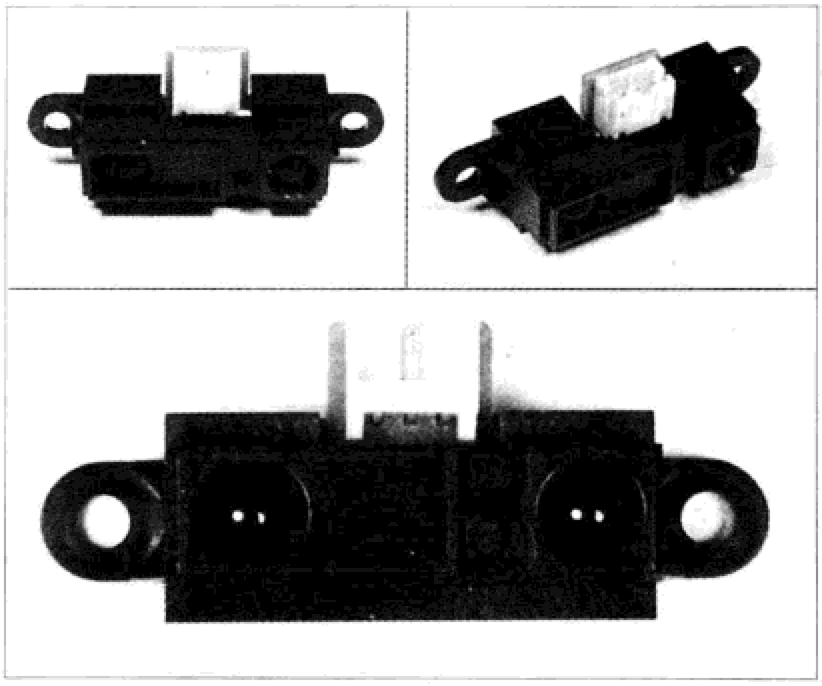
无图无真相，相信很多朋友看到GP2D12的实物图都会禁不住感叹：“哦，原来是它呀！”是不是很眼熟？说实话，除了在个人机器人上，我还真没在其他的地方见过这个东西。

这种传感器的优点是体积小，测量准确，电源电压与输出信号都较常规，一般单片机系统都可直接使用，缺点是成本较高，购买途径较少。

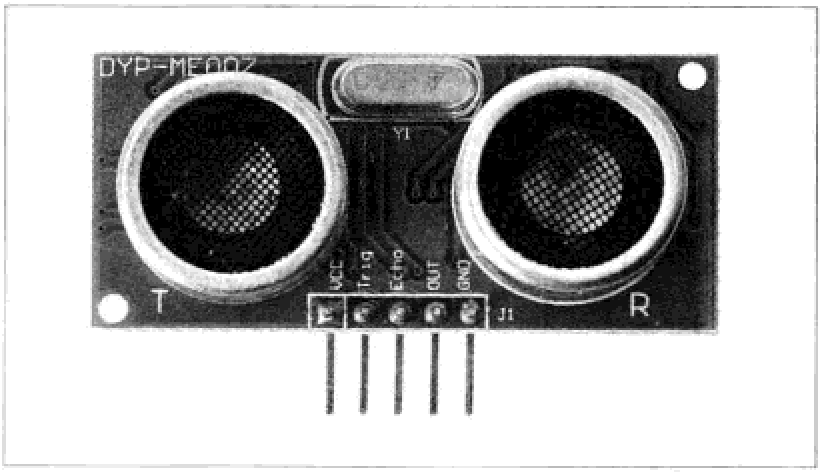
超声波测距传感器也是一种很常见的测距传感器，依靠超声波的发射与反射接收中的时间差来判断距离。

超声波测距传感器规格很多，测试距离也从远到近都有，价格相差也较大，一般机器人爱好者使用的都是测量范围在几厘米到几米之间。

超声波测距的优点在于测量范围较大且不使用光学信号，所以被测物体的颜色对于测量结果没有影响，但其成本较高。由于它依靠声速测距，所以对于一些影响声速的因素较敏感，比如温度、风速等，而且最大允许角度较小。



夏普GP2D12红外测距传感器

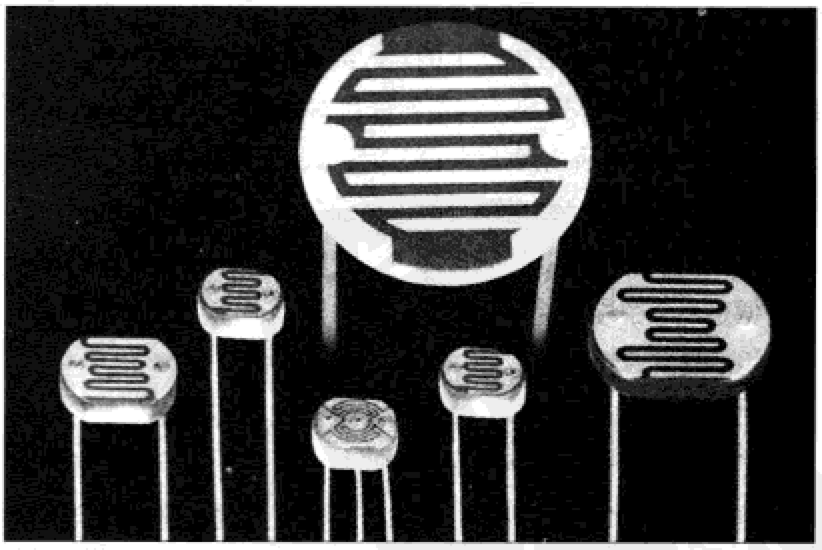


超声波测距传感器

用于亮度判断的传感器

很多个人朋友制作的机器人都需要判断环境光的亮度，这时就需要亮度传感器。最常用的便是光敏电阻。光敏电阻是一种随着照射在上面的可见光强度变化阻值发生相应变化的电阻，可以根据其阻值的变化判断出光强。

光敏电阻的使用也非常简单，只要将它当做普通电阻接入电路，根据电流变化便可得出电阻值的变化，进而判断出光强的变化。对于机器人制作，光敏电阻是一种成本低廉、可靠性好、测量准确的元件。

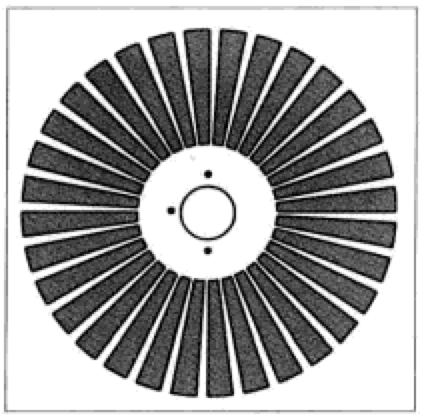


光敏电阻

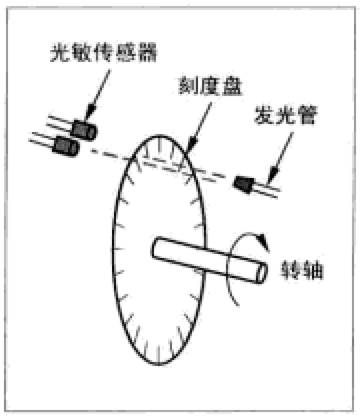
用于测量速度的传感器

机器人自身的行走速度对于判断机器人运动状态和机器人所在位置非常重要，这里我们主要讨论一下机器人小车运动速度的测量。

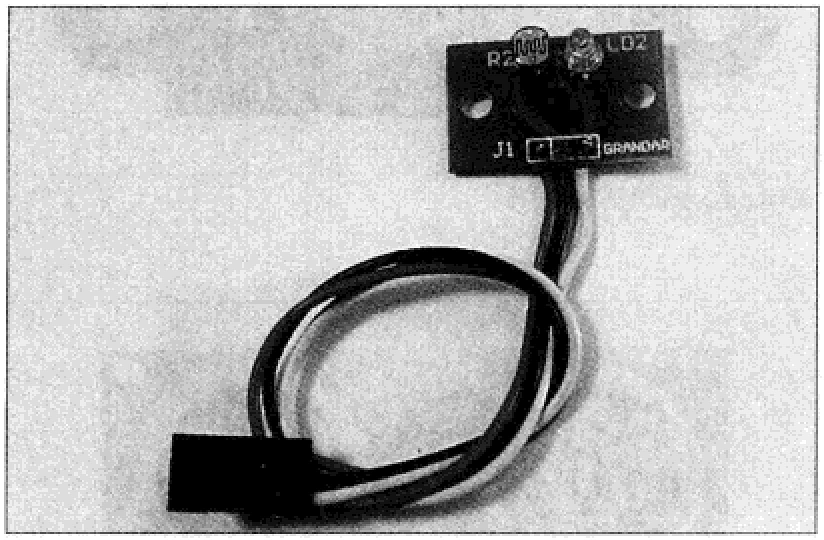
机器人小车依靠电机驱动轮子来运动，因此测量机器人小车的速度可以归结为测量驱动电机的转速。那么怎么测量电动机的



码盘外形图



光栅盘式光电编码器原理图



一种利用发光二极管作为发光装置的地面灰度检测器

转速呢？测量电机转速有很多种方法，比较适合个人机器人爱好者的是采用光电编码器。

光电编码器也有很多种，在个人机器人上比较常见的有两种，一种为反射式，另一种为透射式（都是我随口起的名字）。

反射式的基本结构是在电机的旋转轴上加一个圆形的黑白相间码盘（很多都是粘在轮子上的），离码盘很近的地方固定一个红外发射/接收一体模块，利用黑白色对红外线的吸收率不同来进行判断。红外线照射到黑色部分时，大部分被吸收，而无反射信号，红外线照射到白色部分时，大部分红外线被反射回来，而产生强烈的反射信号。当码盘随电机旋转时，红外接收端的输出信号便是一个由旋转速度决定频率的方波，进而我们便可知道此时电机的旋转速度。

透射式检测原理与反射式相似。唯一的不同是没有上图中的那种黑白相间的码盘，而是在光栅圆盘上开了一圈小孔，红外线或可见光的发射端与检测端分别位于光栅圆盘的两侧，同样利用光栅圆盘旋转后产生的脉冲信号来检测电机的旋转速度。

从本质上来说，两种传感器都属于光电传感器，这类传感器价格便宜，结构可靠，检测结果准确，不过对于安装位置要求较高。因此，建议大家购买电机时，选择配备了光电编码器的电机，免去自己安装可能带来的种种问题。

检测电机转速，除了光电传感器之外，还有一些利用磁效应原理的传感器，汽车上经常使用这种传感器，本文不再详细介绍了。

用于检测地面灰度的传感器

很多人最开始做的机器人小车基本功能就是循线，白色的地板上贴着一条黑线，让机器人小车沿着地面的黑线前进。很多机器人高手都是从制作类似的作品成长起来的。因此，有必要介绍一下检测地面灰度的常用传感器。

可见光地面灰度检测器，就是使用一个发光装置与一个光敏电阻搭配，装在机器人底部离地面较近的一个位置上，发光装置发射可见光，照射到不同颜色上面后，反射光的强度会有一定的差异，根据光敏电阻的返回值便可知道机器人下方的地面颜色。

笔者最初制作地面灰度检测器的时候，是自己弄了个小灯泡来发光，可是效果不理想，后来换了个摩托车上的6V灯泡，效果好多了，就是电池受不了。再后来买了个与图中差不多的灰度传感器，耗电量下来了，检测效果也还可以，但是还是会有漏测的现象，而且容易受到环境光的干扰。于是我后来就使用了一种非可见光的检测方式——红外线地面灰度检测。

前面介绍光电编码器时提到过，反射式光电编码器的码盘由黑白相间的条纹组成，利用黑白颜色对红外线的吸收程度不同来检测码盘的旋转。其实如果引伸一下，把机器人循线的场地看成一个大码盘，其实也是黑白相间，这样每当机器人越过一条白线，就相当于光电编码器上的码盘转动了一个最小角度，光电编码器的输出高、低电平便会变化一次。

这种检测方式比较准确，很少出现漏检的情形，抗干扰能力也比较强，唯一的劣势就是对传感器本身的离地间隙要求较高，高一点或矮一点都不行。因此，对机器人的工作环境要求较高，不平的地面肯定是不行的。

这两种地面灰度检测方式成本都比较低廉，具体采用哪一种，根据自己的确切应用来决定就可以了。

其他

微电子领域的发展日新月异，每天都有各种各样的新传感器问世，很多以前高不可攀的传感器如今也变成了几块钱甚至几毛钱一个，因此经常去电子市场转转，关注一下最新的传感器信息是必要的。

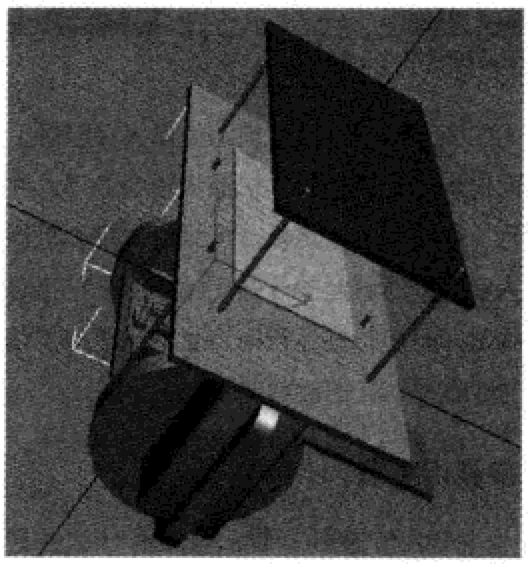
其他制作个人机器人常用的传感器还有数字指南针、加速度传感器等，大多用在比较复杂的应用上，本文就不再详细介绍了，有兴趣的朋友可以自己去了解一下。

谈谈机器人的安装

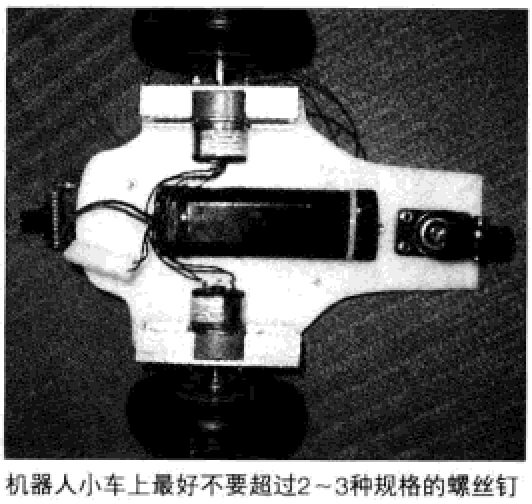
◎胡泊 编译

当我还是一只“小菜鸟”的时候，曾经有一位“大虾”语重心长地对我说过：“如果你的机器人机械部分设计糟糕，即便你拥有专家级别的控制与程序，你还是只能得到一台糟糕的机器人，可如果你的机械部分设计合理，即使你的控制系统与程序很差劲，还是可以认为你制作了一台不错的机器人。”这条忠告我一直铭记至今。

你是否认为拥有前景规划的人在生活中更容易获得成功？是的！制作机器人也是如此。动手之前，在纸上或是计算机里做好规划的重要性毋容置疑。比如，机器人的机械结构采用什么材料，每一处的连接使用什么规格的螺丝，每一个传感器如何固定——每一个你可能想到的问题都应做好规划，这将节省你的时间和金钱，并且你的这个机器人最终的结构也将更加完善。具体来说，你应该画出每一个零件的图纸，标出每一个要钻的孔，想好究竟该怎样把每一个零件连接在一起。



绘出零件结构图纸



机器人小车上最好不要超过2~3种规格的螺丝钉

制作忠告

使用尽量少和简单的零件。

使用更少的零件，意味着你需要准备的零件就少，需要设计的零件就少，需要的花费就少。设计零件的时候，要考虑到这个零件是否易于加工。不要设计没有必要或是结构复杂的零件，或是你没有条件加工的零件。简单和少的零件，意味着你出现设计错误的机会就越少。

使用现成的零件。

使用现成的零件，意味着你将花费更多的金钱。但是毫无疑问，现成的零件比你自己设计的零件更加可靠。市场上销售的零件都经过了严格的设计与测试，这些零件用在你的机器人上也不会出太大的问题。这也将大幅节省你的时间和精力，这是无法用金钱来衡量的。你可能花20小时制作了一个功能简单、可靠性不高的电源，实际上，你只要花费100元就可以买到更好的成熟产品了。

不要使用太多不同规格的螺钉。

我的一个同事制作机器人的时候，给他的机器人上每一个不同的连接处都使用了不同的螺钉。最后，我进行拆卸时，不得不使用了10种不同的六角扳手。而我的同事为了制作这个机器人也不得不买了10箱螺钉。

框架结构

框架结构就是机器人的主体部分，也就是其他所有零部件的支撑部分。要使用一种重量轻、刚性好的材料，比如，铝板或聚乙烯材料。

零部件

如果你见到我最初3年所制作的机器人，你一定会惊讶，为何我的机器人成本会如此之低。毕竟商店里卖的各种机器人的部件都是价格不菲的。实际上，几乎可以说：你可以在自己的屋子里找到所有你所需要的机器人机械部分的零件。

一般来讲，我的机器人预算是这样的：电机70~350元；机械材料大约150元；车轮大约60元；其他一些杂项，包括螺栓、螺母，大约70元。翻一翻你的旧物，说不定会有意外的惊喜。有时候也许会找到一个好的旧电机，不过想要找到两个一模一样的旧电机做搭配就比较难了。

固定方式

经常有一些新手朋友问我：“究竟怎样把各个零件固定到机器人上才好？”必须要明确一点，不同的零部件都有不同的特点，如位置、重量、尺寸、功能等，也就具有不同的固定方法，一定要具体情况具体分析。

车轮

直径：选择轮子时，首先要考虑扭矩和速度。直径大的轮子，获得同等的动力输入时，扭矩较低，但转速较高。如果

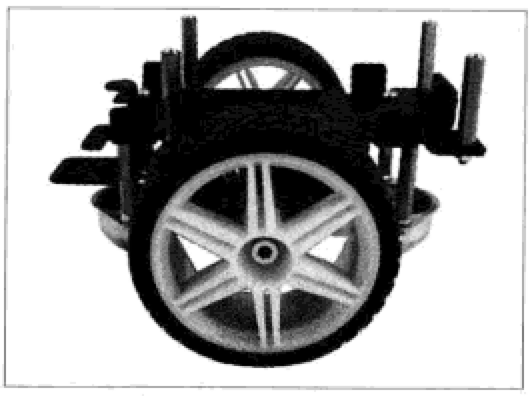
你的电机动力较强，则可以选择直径较大的轮子。伺服电机的输出扭矩较大，所以轮子的直径一定要大。如果你的电机负载较小，那么可以选择直径小一点的轮子。这样，机器人的速度会较低，但是其扭矩足够使你的机器人爬上一个小斜坡。还有一个初学者经常犯的愚蠢错误，就是轮子直径等于或仅仅比电机大一点，这样你的机器人离地间隙就会非常小，越过一些路况不好的路面时会发生严重的磕碰。

车轮纹理：车轮纹理对一些路面来说非常重要，一些初学者经常忽视车轮纹理的选择。如果你的车轮表面太光滑，将很难获得足够的摩擦力。过度光滑的轮子在刹车或加速时有可能会打滑。这一点上，塑料轮子就不如橡胶轮子表现好。但是如果轮子的摩擦力过大，比如泡沫材料，则会影响电机的效率，并且轮子的磨损也会比较严重。

轮子宽度：轮子的宽度不要太宽，否则将会影响机器人的灵活性。我曾经使用过2.5cm厚的泡沫轮子，结果机器人运行得非常差。

轮子的中心孔径：最终你要通过这个孔来把电机轴输出的动力传递到轮子。因此，这个孔径的选择要根据电机轴的大小来决定。

轮子的安装——过盈配合：如果你的轮子没有中心孔，那你就要自己钻一个。加工的时候一定要确保你所加工出来的孔是在轮子的中心。加工出来的孔径应比电机轴稍微粗一点点，然后在孔中涂一点强力胶，将电机轴穿过轮子的中心孔，使电机轴与中心孔形成一个过盈配合。



机器人小车的轮子

购买途径：一般飞机航模的轮子是个不错的选择，网上有很多航模的配件商店，有很多的选择，你可以自己去搜索一下。

电机

电机的种类浩如烟海，我这里假设你的机器人使用的是最基础的直流电机。购买电机的时候最好选择直接配有变速箱的电机，变速箱的动力输出可以使你的机器人更易于控制、更有力。我建议你不要尝试自己去制作电机的减速系统，这将会给你带来非常多的各种各样的问题。我的第一次尝试最后也是以失败告终。

不论什么类型的电机，要固定到机器人底盘上都需要一个L形支架。你可以用一块有一定厚度的铝片来制作。一侧上钻两个孔，利用螺丝将铝片固定在机器人底盘上；另一侧钻两个孔，与电机上的固定孔对应来固定电机。将铝板折成一个90°角。这样一个支架就制成了。还有一个选择，就是使用现成的U形铝板。这种铝材很容易找到，只要大小合适，再钻上几个合适的孔，就可以很容易地固定到我们的聚乙烯底盘上。

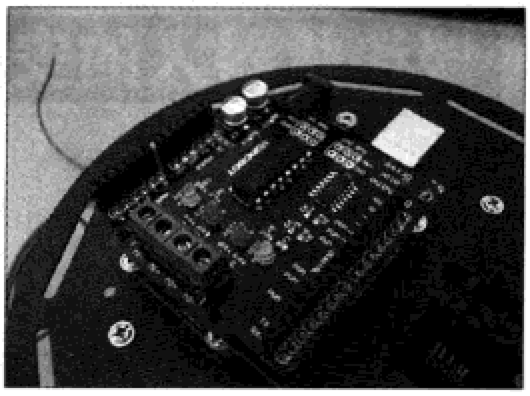
安装机器人电池

安装机器人电池是一件很简单的事情，只要你使用的是固态电池（比如镍镉或镍氢电池）。最简单的固定方法就是用胶或胶带把电池固定在机器人底盘上。

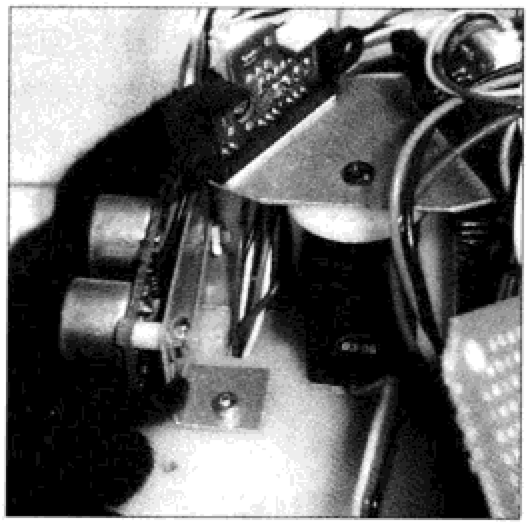
电子电路

将电路板装在机器人上，有时是件很困难的事情。如果你的运气够好，买到一块预留了螺纹孔的电路板就比较方便。如果没有的话，那么你就要想办法自己在电路板上钻孔，然后使用螺母与螺杆把电路固定在机器人底盘的聚乙烯板上。

安装电路设备时要记住一件事：尽量把电路板或其他一些电子设备安装在机器



机器人小车的控制板

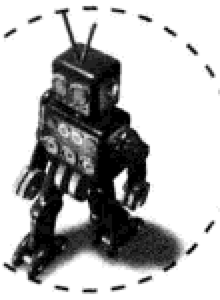


安装传感器的支架

人的高处。因为这些电路设备大多较轻，而你应当尽量使你的机器人重心靠下。并且，如果你的电路板离地太近，那么机器人在运动时溅起的一些污垢很容易把电路弄脏，且电机在运行时产生的一些电子信号也容易对你的控制电路产生干扰。

布置传感器

安装传感器方面，很难有什么共通的准则。安装传感器最大的困难就是在机器人上总是有这样或那样的影响传感器工作的限制。比如，传感器不能离噪声较大的电动机太近；传感器可能必须要装在机器人的前面或两侧，并且要有一定的保护措施，避免碰撞，而且灰尘也有可能会影响传感器正常工作；如果你做的是一个循线机器人，那么机器人底部传感器的离地间隙必须精确。因此，如果想将传感器安装在一个非常合适的地方，你必须利用一些技巧和工具，比如螺纹、胶或是一些自制的支架。



日本爱好者制作的微型循线小车

◎Jing Chen 编译

循线（Line Following）小车比赛就是众多机器人比赛中的一种。这种比赛是以小车在线上运行速度的大小来决出胜负的。本文介绍一款日本爱好者ELM-CHAN设计制作的一个很小的（体积还不到一般循线小车的五分之一）能够在桌面上运行的循线小车。

关于循线小车

循线小车是沿着桌面上的线运行的，且具有自我操控的功能，其基本的操作有：

（1）利用小车前端的图像传感器来捕捉线的位置。大多数参赛者都会使用几个图像反射器来进行图像处理，而少数具有领导能力的参赛者使用的是图像传感器来进行图像处理。另外，对线的感应过程还需要高分辨率和较高的系统健壮性。

（2）利用操控机制来控制小车追踪线。这仅仅是一个伺服操作（以机械位置或角度作为控制对象的自动控制）。在运用数字 PID 过滤器或者任何其他的伺服算法来稳定跟踪运动时，任何相位的补偿都是必须的。

（3）通过车道的状况来控制车速。在通过一条曲线时，由于轮胎和路面的摩擦，小车的速度是要有一定限制的。

小车循的线有两种，分别是：黑底白线和白底黑线，线的宽度为 15 ~ 25mm。

循线小车的硬件部分

循线小车所有的机械部件和电线都是在一块原始的板子上进行安装的，这块板子同时也构成了小车的底盘。

循线小车有两个驱动车轮和一个自由车轮。驱动车轮由一个7mm直径的球轴承和一个橡胶轮胎构成，自由车轮是一个5mm的球轴承。要让驱动车轮动起来，还需要两个微小的用于手机或者任何移动设备的振动电机。小车的主轴用一个弹簧板压在轮胎上，其输出力矩就转移给车轮了。

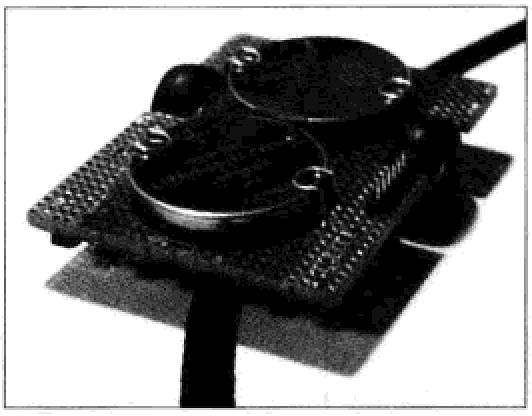
驾驶装置的实现有很多不同的方法，但主要是通过小车左右轮之间不同的旋转速度来驾驶小车的。这样的驾驶不需要任何额外的制动器，只需要控制车轮的速度就可以了。

一个Atmel 公司的ATmega8（具有8KB系统内可编程Flash的微控制器）被用作小车的控制器，且ATmega8由一个硬币式的锂电池来启动。其他的锂电池用于电机。分成两部分来供电是为了避免由于电机电压下降而造成微控制器的意外复位。小车底盘的前端安装了6个图像反射器，用来感应地面的反射率。为了使车轮的转速成线性，电机是用PWM（脉宽调制，利用微处理器的数字输出来对模拟电路进行控制）驱动的。

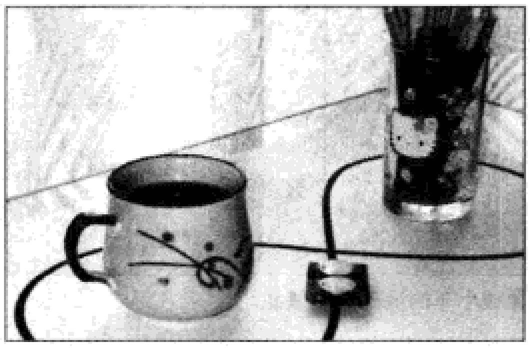
循线小车制作的零件表如附表所示。

循线小车的软件部分

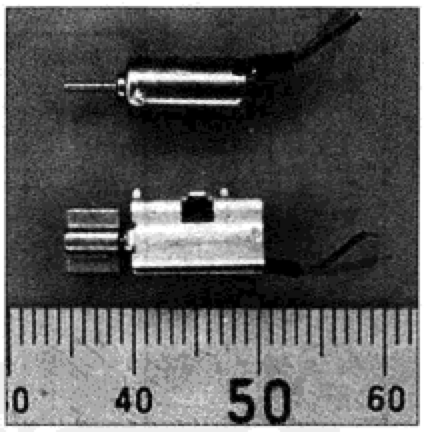
为了探测小车将要运行的线，大多数参赛者都用两个或更多的图像反射器，与地面反射率成比例输出的电流通过一个



循线小车



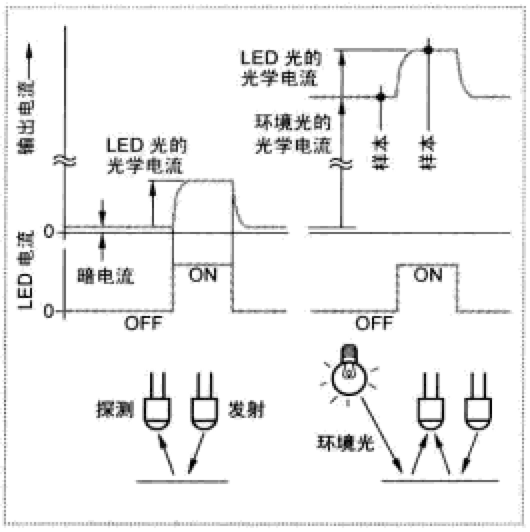
小车在白底黑线上运行



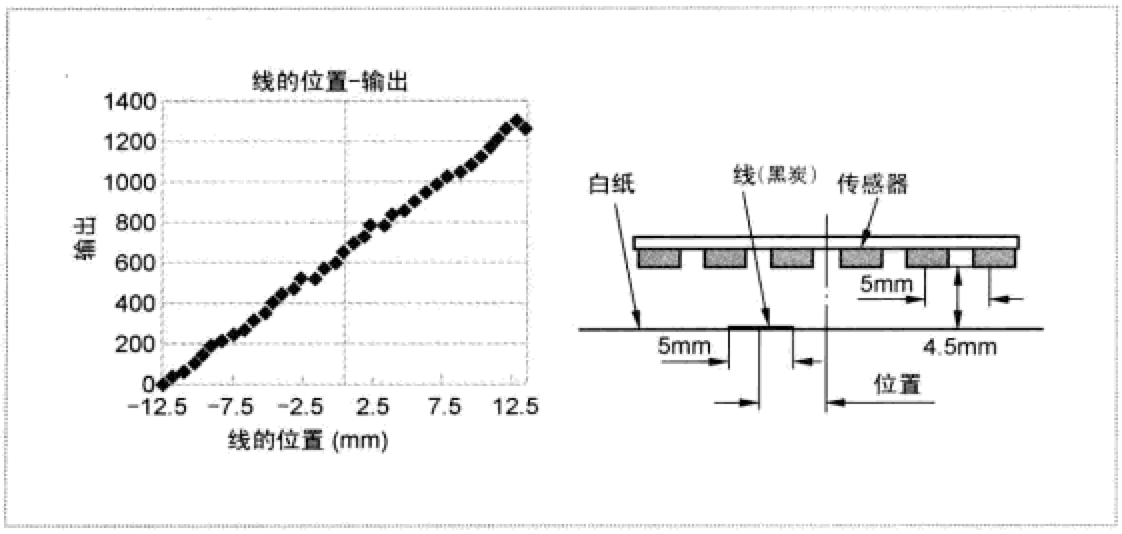
两个振动电机

附表

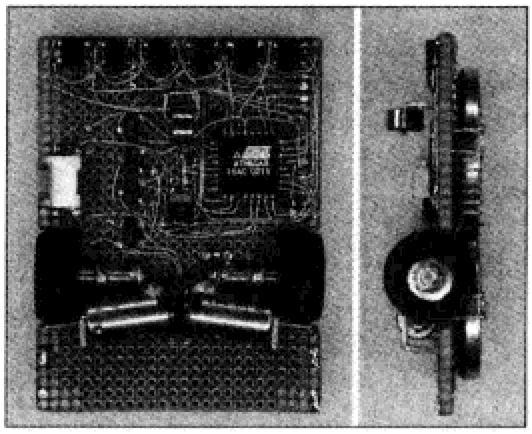
控制器	Atmel 公司的ATmega8
线感应器	6个图像反射器
供电装置	2个CR2032锂电池（一个用于控制器，一个用于电机）
电机	2个小电机，分别用于左轮和右轮
尺寸	长45mm，宽33mm，高12.5mm
重量	15g（包含2个锂电池）
性能	在椭圆线上的速度为53cm/s



线探测的信号处理过程

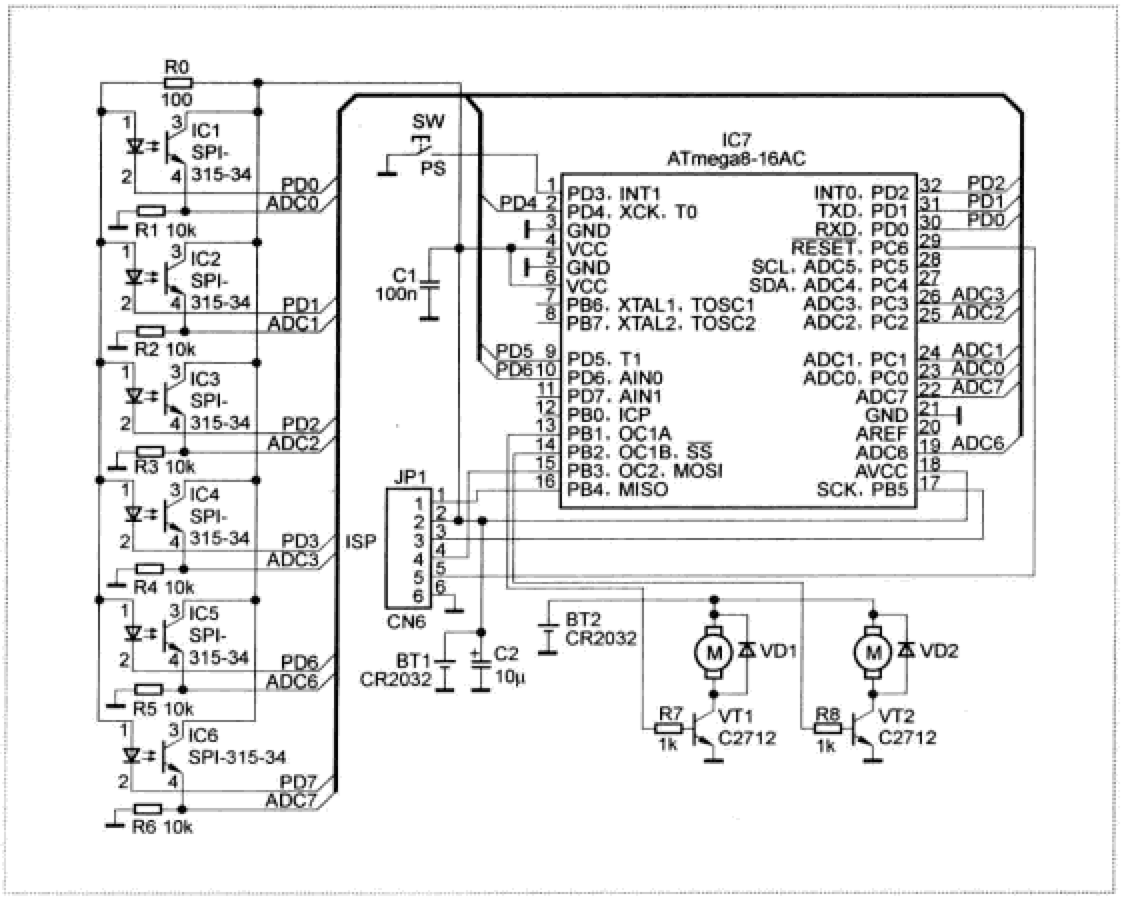


线的位置输出图


循线小车的底部图和侧面图

电阻被转换为电压，通过测试这个电压，判断线是否被探测到。然而环境光线引起的光敏电流会被添加到输出电流中，容易造成阈值电压不断变化，而不是固定在某一级的。

多数工业用途的图像探测模块都设定为探测柔和的光线，以此来避免环境光线的干扰。被探测到的信号通过一个带通滤波器（一个允许特定频段的波通过，同时屏蔽其他频段的波），没有用的信号就会被过滤掉。因此，只能探测到从光发射器发射来的比较柔和的信号。当然，探测器绝对不能因为环境光线而达到饱和，这在线性区域进行探测时是必须的。



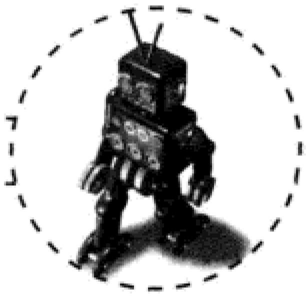
循线小车控制电路

在这个项目中，脉冲光是用来排除环境光线的。微控制器开始扫描传感器的状态，采样输出电压，打开LED，并且再次采样输出电压。两次采样的不同之处在于LED的光敏电流和环境光线被排除后的输出电压。其余的传感器也按上述顺序进行扫描。

微控制器扫描6个传感器，并通过该线附近的两个传感器的输出计算出线的位置。这样，只用6个传感器就能够线性地探测到线的位置。所有传感器输出与反射器成比例的模拟值，每个传感器的灵敏度各不相同。在这一系统中，为了消除从输出设备中产生的差异，每一个传感器的校准参数都要输入到非易失性的存储器中。

当小车偏离线或者到达线的末端时，感应线的传感器就会产生一个错误信号。这时电机会停止，微控制器进入零功率消耗的休眠状态。

本制作涉及的相关程序，读者可以到本刊网站（www.radio.com.cn）上下载。



我的机器人制作体验

◎刘天龙

我以前做的都属于业余级机器人，积累了一些机器人设计、零件加工、组装等方面的经验。机器人爱好者想做机器人，但却觉得不知从何下手，原因有很多，其中之一可能是爱好者对自己想做的机器人的愿景过高。

作为业余爱好者，没有专业设备和经费，想做出科幻片里的机器人是不容易的。但不妨我们开动脑筋，想出一些既简单、有趣又有用的机器人来做。 如果实在不知做什么样的机器人，那么看一些和机器人相关的影视作品，非常有助于开阔思路。

其实机器人本来就是为方便人们而研制的，我们何不从生活需要出发做一些有用的机器人呢？比如吸尘机器人，能够帮助人们清扫地面，减少家务劳动负担。吸尘机器人又是一种小型轮式移动机器人，没有复杂的机械结构，结构和功能设计的自由度很大，可以做得很复杂，作为博士科研项目，也可以做得很简单，同样能完成简单的清扫任务。

我们首先要思考这种机器人有什么功能。首先它能在地上跑。由于房间障碍物复杂，要求机器人能灵活转向，因此最好选择两个主动轮、一个万向轮的三点式驱动结构。要完成避碰功能，我们要在机器人四周设置碰撞检测装置，这种传感器可能是碰撞开关、超声波测距仪、红外测距仪，甚至激光测距仪，爱好者可根据自身情况随意选择。为完成吸尘功能，需要在底盘上开个吸尘口，同时在机器人的合适部位安放真空泵。

完成了功能构想后，我们要思考机器人具体形态，以及内部各个元件的分布。要进行三维空间结构构思。尽量使机器人体积小巧，同时注重结构坚固、使用方便，对于移动机器人，要考虑重量平衡。如果机器人重量不平衡，可能会向前、向后栽倒。考虑到机器人需经常原地转向，外形应做成圆柱形。先在底盘上布置主要部件，比如传感器、电路板、真空泵、驱动装置，然后再放置次要部件，比如电池，用电池来平衡机器人前后重量。

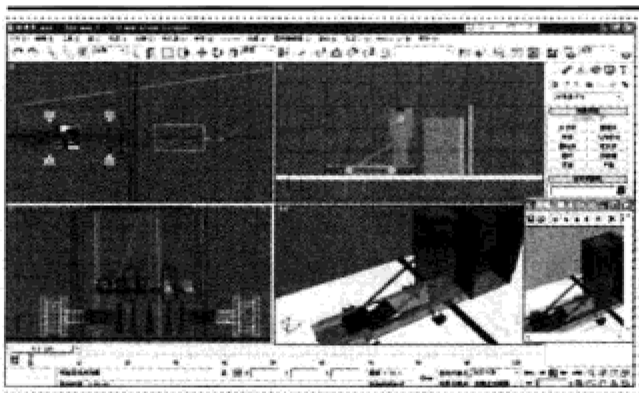
我们可以先在一张纸上画出机器人底盘轮廓，然后将各种元件在纸上摆放，不断调整各自位置。有条件的爱好者可以考虑通过计算机辅助设计软件来进行结构设计。对于机器人初步结构设计，我建议使用3D MAX 三维动画软件。该软件相对于UG AUTOCAD等专业软件，具有易学、易用的特点，简单的三维建模直接用鼠标拖拽就可实现，做初步设计效率非常高。

设计了系统结构后，爱好者需要考虑实现这些功能的电路。首先根据机器人的主要部件，如传感器、液晶显示器、电动机等设计相应的驱动电路，然后根据机器人功能设计控制电路，并将驱动电路连接到控制电路上。爱好者最好先在纸上画出电路大体连接，然后用 Protel 等电路设计软件绘制详细的电路图。为确保电路正确，爱好者最好在仿真软件中对所有电路进行仿真。但根据我的经验，仿真软件多用电路学的基本公式进行计算，公式是真实的抽象，忽略了很多细节问题，因此仿真结果不是完全可靠的。有条件的话，应该在面包板上搭建所有电路，进行实物测试。

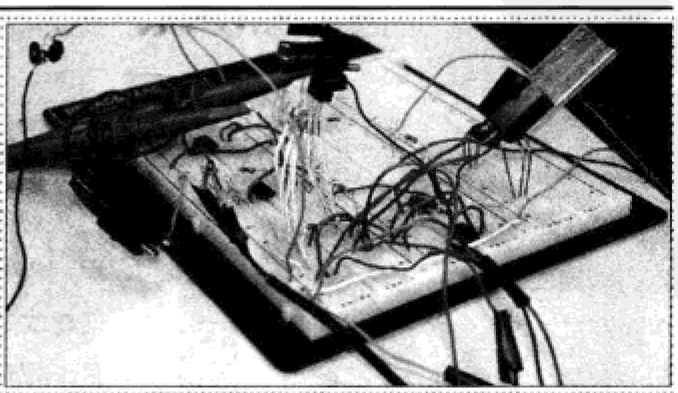
电路板上的元件分布非常重要，好的元件分布不仅布线方便，还能抗干扰。同时，要结合机器人结构进行设计，要考虑与其他外部器件是否连接方便、散热是否容易，对于要求高的机器人还要考虑人机交互方便等的问题。可以先将各种元件插在泡沫板上调整布局，满意后再绘制 PCB。

如何获得机器人外壳或者主体结构构件？先在自己周围转转，看看有没有什么东西能用得上，找不到的话，到大型超市去找，那些塑料盒、脸盆、衣服挂、晾衣架、真空吸盘……全部可以作为机器人构件。

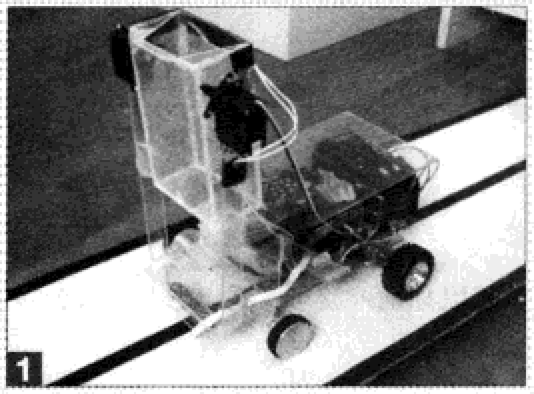
电钻是不可少的工具。对于很多塑料构件，除了用锯切割外，用电钻切割也是很好的方

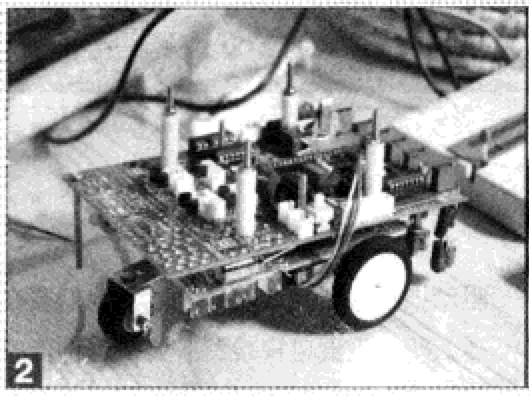


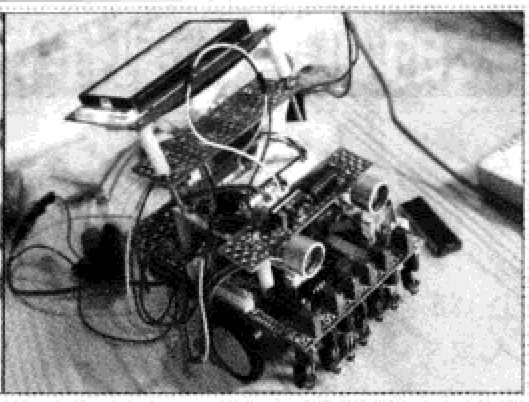
用3D MAX三维动画软件设计机器人结构

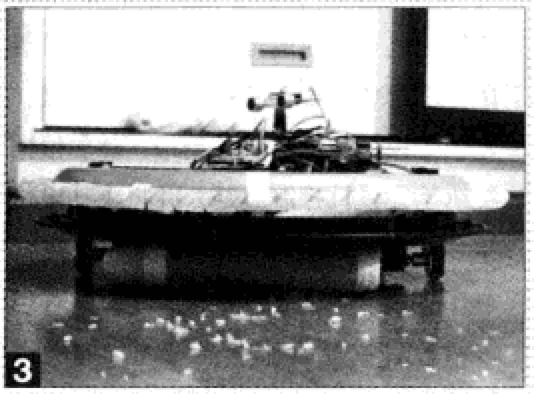


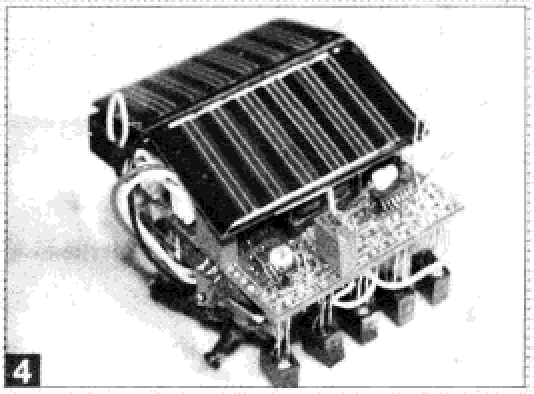
在面包板上搭建电路进行实测


1


2




3


4

5

法。铣床即是靠旋转“钻头”实现切割工件的。一般小型电钻为12V变压器供电，变压器输出功率不够，当用电钻钻比较硬的东西时容易卡住，如果换用12V蓄电池给电钻供电，蓄电池输出功率非常大，你会发现电钻立刻变得动力十足。

电热式胶枪是很方便的粘接工具。胶枪总是往下滴热熔胶，用一个易拉罐底接着这些胶，积攒多了后把它放在电烙铁散热片上，一会儿易拉罐底里的胶就会融化，然后用牙签沾着胶，抹到机器人上需要的位置。有很多地方比较狭窄，胶枪头插不进去，用牙签沾熔胶正好能涂进去。

测试机器人时最好选用同时能够显示电流和电压的调压电源，这样，在测试时可以同时看到电源的输出电压和电流，如果电路有短路或者某些故障，会造成电流过大，能够及时通过电源上的电流显示发现。

下面我给大家展示一些我近几年的机器人作品，希望能够对大家有所启发。

1 大二偶然机会遇到了一个和自己有共同爱好的同学，从此两人开始一起努力，参加电子大赛制作了运水机器人。

2 参加电子大赛时做的“通用移动机器人底盘”，在“通用底盘”上面摞上显示器和超声波测距仪，小车实现了自动避障功能。随后又在“通用底盘”上加上了显示器和超声波测距仪。

3 有一天家里的大钟摔坏了，我就用钟的外壳做了个“智能吸尘器”。当时还没接触到淘宝网，不知道上哪里买真空泵，就买了个航模的喷气式涵道桨发动机做吸尘泵。用一个舵机带动一个超声波测距仪，进行330°旋转，扫描周围环境的障碍物状况。钟盘内侧有碰撞开关，用来检测碰撞情况。

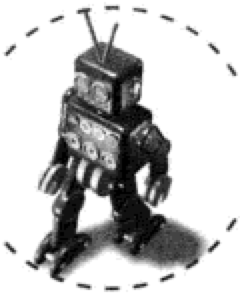
4 我在图书馆看过一本书，介绍控制论作者早年研制的“沃尔特海龟”，电子海龟没电了会自动回到窝棚充电，充满电后自己到外面玩耍，这是机器生命的雏形。我受到启发，自己做了一个单片机版的“海龟”。

“海龟”身上的光电二极管用于寻找哪里的光强适合充电，背上背着太阳能电池，前面还有一排红外线对管，用于防跌落。实际上，原本那些红外对管是用来检测地面标志线的，我原计划通过某种有学习能力的程序，使机器人能够自主识别地面标志，而后能够通过沿地面标志走到充电地点。

5 再跟大家分享一下我的实验室，我和我的同学在这里一起为电子大赛拼命奋斗过，他觉得那是痛苦的记忆，我却觉得那是激动人心的记忆。每天都怀着梦想进入可爱的实验室。这只是一个小“池塘”，还有“大海”等待我去畅游。

作者简介

刘天龙，23岁，喜欢电子技术、机器人、航模、计算机编程、电脑艺术、军事。将致力于服务型机器人设计，希望设计低成本、高效能、系统化并且视觉效果良好的服务型机器人产品。同时，喜欢抛开传统人工智能，研究基于生物神经结构和学习方法的机器人智能化。

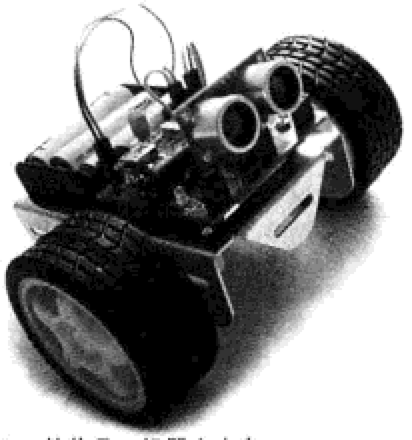


机器人爱好者如是说

◎胡泊 整理

Qibot:

其实我搞机器人的时间并不长，大约1年多以前开始的吧，但从小就比较喜欢电路，最早自己动手腐蚀电路板、制作对讲机还是十几年前的事情了。这些年来，看到了各种机器人产品，从简单的循线车到AIBO、ASIMO，都很心动，却总觉得这些太复杂，需要很多时间，所以一直没有行动。直到一天看到Parallax公司的企鹅机器人，很简单却娱乐感十足，但国内却几乎买不到，于是打算自己动手制作。第一步的目标没敢设定得过分远大，就参考他们的boe-bot吧。只有循线还不太过瘾，经过几个月的设计改进，最终制作成功模块化的小车，可以循线、追光、避障、遥控，其核心是一块PIC18单片机。虽然中间也走了很多弯路，但整体来说，以制作机器人小车来入门并没有想象中那么困难，只是一定要动手！但也千万别好高骛远，什么人形、视觉系统，等入门了再说吧。来吧，还等什么？先做个机器人小车玩玩吧。



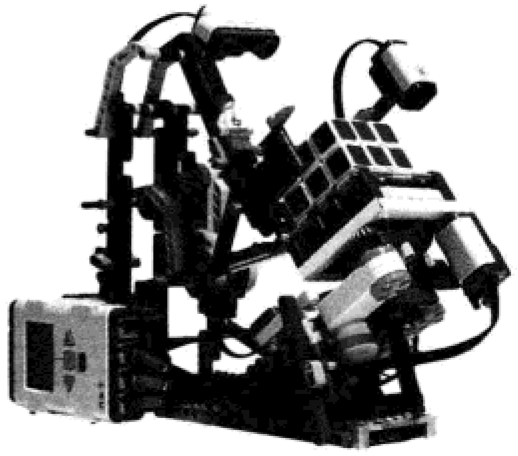
Qibot的作品：机器人小车

陈武：

最近我刚刚升级当了父亲，父母们一下子辛苦起来，每天马不停蹄地洗衣、做饭、收拾屋子、打扫卫生……咱们人类就是这样，经常被一些重复性的琐事所累，严重影响生活质量。其实，这些事情交给机器人来做最合适不过了，它们力大无穷，永不疲倦，更不会像某些保姆那样给孩子喂安眠药。

大家也许会问，机器人安全吗？足够聪明吗？价格便宜吗？没错，现在机器人离我们的生活还挺遥远。但我相信科技进步的速度远超我们的预期，在不久的将来，机器人一定能走进千家万户！

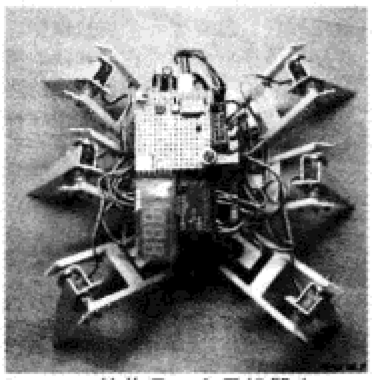
作为一个业余的机器人爱好者，我希望通过分享自己的成果，让更多的年轻人关注机器人，研究机器人，为这个行业尽一点微薄之力。



陈武的作品：会解魔方的机器人

Plenilune:

小时候我就喜欢小制作，从经常拆家里的电器，到搞搞无线电，做些小电子玩艺儿，再到做做遥控模型……上了中学之后，因为忙于学业，这些爱好都搁置下来了。后来参加工作了，又因为疲于生计，也一直没有机会再拾起这些兴趣爱好。一晃就是十多年过去了。在去年的某一天，我在网上瞎逛，链接到了Robotsky网站，看到了现今机器人制作的水平已经发展到了相当专业的程度，尤其是看到很多机器人的精彩视频，更是让我惊叹不已。那些软硬件完美结合的“艺术品”——让我有种砰然心动的感觉。说到这里，我想有很多朋友都会有我这样类似的经历，没错，自己DIY机器人——那是久违了的童年梦想。从此，我开始利用业余时间学习DIY机器人，到目前为止，不能说学有所成，但也算是积累了一定的经验，更让我在如此喧哗忙碌的生活中找到一份乐趣。



Plenilune的作品：六足机器人

来吧，大家一起来吧，不要再犹豫了，事实上这一切都没有想象中的复杂，事在人为。想想看能够重温旧梦，那是怎样的一种幸福呢？

Moren:

“噢!这个机器人做得真精良……哇!这个也很强悍!还有这个!”看到网上各位高手们做的机器人，你自己是不是也跃跃欲试了呢?也许你早就有更具前瞻性的想法，早就想拥有自己的机器人了，那就把你的想法付诸实践吧!把你心中的机器人做出来吧!

“我没有那些工具啊！车铣刨磨钳，什么加工工具都没有，怎么做啊？”几乎每个初次接触机器人的朋友都会遇到这些障碍，确实是很棘手的问题，俗话说：“工欲善其事，必先利其器”嘛。但是没有必要把整个车间都搬到你家吧？或许你有个很大的车库，但是我保证你老婆会把你和你的宝贝设备一起扔出去，当然你老妈也有相同的想法……那咱们也不能放弃！我知道你不是个轻易放弃的人，那仔细找找，家里是不是有些最基本的五金工具呢？锤子，钢锯，改锥，锉刀？有啊！太好了，这就是你征服世界的利器！就用这些，你就可以做出令人惊叹的作品！需要的只是一些基本的金属加工知识，再需要一点耐心和训练，“只有亲手制作的，才是真正属于自己的”。我就是用这些简单工具做的。机器人没有必要很花哨，实用就好，当然等到你已接近“炉火纯青”时，我绝对相信那个变形金刚是你用锤子砸出来的，呵呵呵！

Moren的作品：爬虫机器人

机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

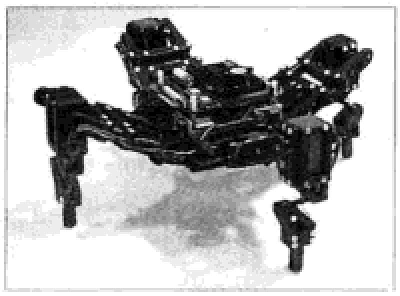
搜 罗 全 世 界 关 于 机 器 人 的 新 闻 报 给 你 听 ！

美国大学教授设计出自适应机器人

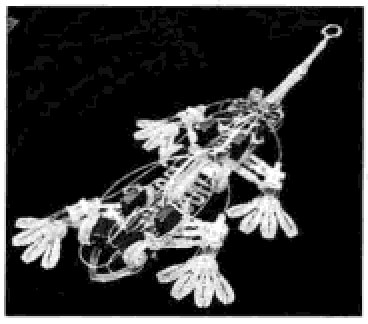
思考一直被认为是人类独有的能力，但是最新的机器人研究正在致力于让机器人具备自我反思的意识和能力。

美国康奈尔大学计算机人工智能实验室的机器人专家Hod Lipson和他的团队最近研发出一种有点像四脚海星的机器人。它的“大脑”，或者说控制中枢中输入了相应的程序，使得它可以像人类一样“感知”到自身的存在，知道自己的手和脚在哪个位置，并指示身体的相应部位做出规定动作。

身为博士后的乔什·邦加德（Josh Bongard）与机器人专家Hod Lipson，以及在读博士Victor Zykov一起开发了这种能自我调整，适应本身或是环境变化的机器人。这一关键性的进步就是设计出的机器人可以在完全不需要控制辅助的情况下进行调整。邦加德从最基础的地方规划机器人，比如每部分的大小和形状。在一段示范中，他拆下机器人4条腿中的一条，机器人来回摇摆，激活两个倾斜传感器，“觉察到了”突变的情况。随后它自己利用模拟软件，建立出一个虚拟模型，并采用该模型来测试在“残疾”情况下的新漫步方式。一旦虚拟的测试获得成功，机器人就会采用同样方式进行真正的行走。



南京航空航天大学研制出仿壁虎机器人



南京航空航天大学研制的动物全空间运动行为-反力测试仪、仿壁虎机器人作为“十一五”期间受国家高技术研究发展计划（863）资助的科研成果之一，日前受邀参加了国家“十一五”重大科技成就展。仿壁虎机器人采用模拟壁虎微细结构，模拟大壁虎脚掌基于分子间的范德华力，通过仿生结构设计、仿生步态规划、脚掌粘附性能测试等方法，实现了爬壁功能。

展示中，拖着长长尾巴的银色仿壁虎机器人，听着电脑的号令，在90°的直立墙上昂首迈步，如履平地。

“壁虎是飞檐走壁的高手，很多人以为它脚底有吸盘，其实是脚底有直径为头发丝千分之一的刚毛，数万根这样的刚毛依靠分子间的引力，能够支撑起惊人的重量。壁虎机器人就是运用了这样的原理。”南航仿生结构与材料防护研究所戴振东博士介绍说，“将来在反恐、救灾搜救、航天、信息探测等各个领域，凡是人类不能深入的领域，机器人都可以代劳。在未来家庭服务、极限作业、抢险救灾等方面，机器人都将发挥不可替代的作用。”

仿壁虎机器人还于4月初参加了第39届日内瓦国际发明展。

安川电机推出小型机壳和部件涂装机器人

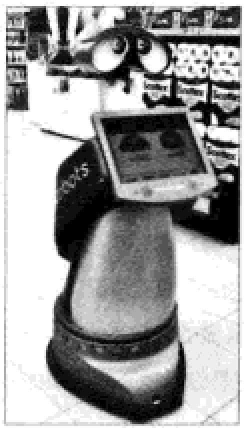
安川电机4月1日推出了应用于家电、电子等产品的机壳、部件涂装的机器人MOTOMAN-EPX1250。该公司基于开发汽车车体涂装机器人的经验，为处理更小的部件对机器人进行了改进。价格方面，包括机器人主机和控制器、操作箱在内，一套装置售价为408万日元（约合31万元人民币）。

这款机器人的机体通过采用铝合金等轻量材料，使重量减轻到了110kg，降低了机器人悬挂在墙壁和天花板时对安装强度的要求。机器人可以设置在涂装车间的最佳位置，因此，涂装车间有望实现小型化并简化空调设备，从而减少设备投资。

通过对机器人的组成部分——悬臂的长度和动作角度进行优化，这款小型机器人的悬臂最大到达距离达到了1250mm，最大可涂装800mm×800mm×200mm的工件，并且可以同时涂装多个小型工件，易于提高生产效率。其承载重量为5kg，可以安装喷雾枪、静电枪和旋杯式喷枪。使用旋杯式喷枪时，其尖端部分具有高速旋转的涂料雾化机构，雾化粒子的均匀性十分优异。因为它能够保持涂膜厚度均匀，所以便于实现高品质涂装并减少涂料用量。

外形像瓦力的导购机器人Tico

西班牙的Adele机器人公司开发了一款导购/导游服务机器人Tico，主要用于超市、酒店、机场、博物馆等场合，可提供信息查询、导游等服务。Tico高150cm，重65kg，外形酷似迪斯尼3D动画中的主角——机器人瓦力（Wall-E），尤其是头部和大眼睛和瓦力非常相似。



Tico的头部和颈部共有6个自由度，颈部装有摄像头，可识别人脸，“双手”举着一块大触摸屏，供顾客查询信息，底座装有激光测距仪和超声波传感器，可避开障碍物。

机器人Tico采用了主频1.6Ghz的英特尔酷睿双核处理器，操作系统则是著名的Ubuntu 9.10。它的报价较高，约在6万~10万欧元（根据不同的客户需求价格也不同），一天的租金在2500欧元左右。

除了导购等功能外，Adele公司还将Tico用于医疗护理和辅助教学领域，并可作为视频通信（会议）机器人使用。Adele旗下另一款为人熟知的机器人是Paro，是一个为老年人开发的医疗机器人。

韩国开发出可穿戴式机器人

韩国开发出了影片《钢铁侠》中将凡人变成超人的可穿戴式机器人（wearable robot）。汉阳大学机器工学系韩彰秀教授研究组表示：“在韩国国内首次开发出可支持人体力量的可穿戴式机器人HEXAR，即将衣服形态的机器安装在身体上，可提高人体的力量。”

“HEXAR”是“汉阳大学外骨骼辅助机器人（Hanyang EXoskeletal Assistive Robot）”的英文缩写。相当于上衣的上身系统是一种机器胳膊，如果力量传感器感知到人的动作，机器胳膊就会启动，最多可以提着40kg重物自由活动。研究组介绍说，这使成年男子的力量增加了10倍以上。下身系统是残疾人用的步行辅助器形态，人要行走的时候，压力传感器就会感知到肌肉变硬，从而使机器腿移动。这样一来，老人和残疾人不用费任何力气就可以行走。如果装上具有脊椎功能的机器装置，最多可以背着45kg重物轻松登上陡峭的坡路和楼梯。

韩彰秀表示：“韩国国内从三四年前就开始积极研究可穿戴式机器人，HEXAR是这项研究的第一个成果。这将使需要很大力气的救援队员和肢体残疾人得到巨大帮助。”研究组预测，步行辅助器形态的下身系统和上、下身综合系统可能分别于2年和5年后投放市场。

PDG

美国研发机器鱼，将可带领鱼群远离危险水域

这些机器鱼看起来可能很像小孩子们的玩具，但是也许有一天它们会成为拯救海下生命的英雄。这些机器鱼的特别之处并不是它们可笑的卡通外形，而是它们能惟妙惟肖地模仿真鱼的游动方式。研究人员表示，将来会把这些机器鱼派遣到受到有毒废水影响的水域，把鱼群带离危险区域。除此以外，机器鱼还能带领它们避开水下涡轮等人造障碍物。

纽约大学理工学院机械工程系副教授莫里兹奥·波尔菲里研制了这种机器鱼。他表示，通常人类通过从自然界获得的灵感来提高自身能力，但是这次他希望受益者是大量水生生物。波尔菲里说："研究鱼群、鸟群和成群结队的动物，已经启发我们设计出能为我们所用的机器人。但是我想看一看我能否取长补短，把其中一些利益重新回馈给自然界。鱼群有一个庞大的信息分享系统，它们根据很多因素确定什么时候应该成群结队地游，这些因素包括视觉和其他鱼产生的压力暗示。通过研究这些线索，我们可以得知鱼群成员是如何识别和追随它们的领导者的。"

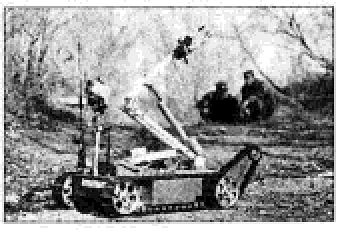
第一代机器鱼的外表很难和它们所模仿的真鱼一模一样，但这并不妨碍它们的游动方式跟真鱼一模一样。检测显示，机器鱼能跟踪、追随并同其他鱼儿一起四处游动，以便对鱼群的行为产生影响。迄今为止，波尔菲里设计的机器鱼只能在水面上游动，不过他希望不久后他就能研制出既能潜水，又能浮出水面的模型。他因这项研究获得美国国家科学基金会颁发的杰出青年教授奖。

中国首个防化机器人问世

近日，东南大学仪器科学与工程学院同相关部门合作，研制出一台核化侦察与应急处理遥控操作机器人，可以在核辐射和有毒有害环境下协助人类救险。

从2004年开始，东南大学仪器科学与工程学院院长、机器人传感与控制技术研究所所长宋爱国和他的团队总共研制出5代机器人。最新的第5代机器人是今年年初才完成的。它长85cm，重30kg，浑身漆黑。据介绍，这个机器人主要用于人员无法到达、情况不明或高危作业区域，执行核辐射、化学和生物污染的测量、取样以及现场紧急情况处理等任务。

据了解，这个机器人成本不菲，一台裸机的成本就要40万元人民币，再加上机械手，总价预计50万元左右。"因为是特种机器人，机器人身上的很多部件都很特殊，仅机器人身上的一套数字传输系统和图像无线传输系统就价值18万元。"宋爱国告诉记者，要向机器人供给足够的能量，就得配上更好的电池。为此，他跑遍了全国，才找到一款能量和体积比最优的电池，"这块电池不仅轻巧，而且能量供给很足，价值差不多两万元。"



iRobot机器人奔赴日本灾区参与救灾

由于机器人可以在高辐射环境下工作，。3月28日，4台iRobot机器人以及6位美方公司派出的工程师一起从马萨诸塞州的总部飞抵东京，然后前往日本海啸灾难现场协助进行清理工作。这4台机器人包括两台"打包机器人"（Packbots）以及两台"勇士机器人"（Warriors）。

自重68kg的勇士机器人能够移动直径7.6cm的消防水管，并将其带到需要用水的地方。这种机器人拥有一个机械臂，可以举起100kg的重物，并拥有灵活的履带系统，可以爬坡，行驶速度达到将近13km/h。

而自重约11kg的打包机器人的机械臂也可以举起大约13.6kg重的物体，可以协助清理废墟，或搬运危险物品。其中一台打包机器人还装备了辐射探测设备。这种机器人的速度也可以达到9.3km/h左右，并且能爬上60°的陡坡。

不过，由于打包机器人主要的设计目的是排爆，而勇士机器人则还是原型机，要到今年夏天才能正式定型，因此随行的工程师们仍然需要就这些机器人设备的能力范围、操作性以及使用限制和核电站的所有方——东京电力的相关负责人进行协商。

美国卡内基梅隆大学的机器人专家威廉·维塔克（William Whittaker）告诉记者，这些机器人在日本核事故现场能起到多大的作用，很大程度上取决于这里的核辐射能穿透多厚的防护层。他和他的同事们在上世纪七八十年代一起努力研制机器人，以便帮助美国政府处理发生严重堆芯熔化的三里岛核电站事故。

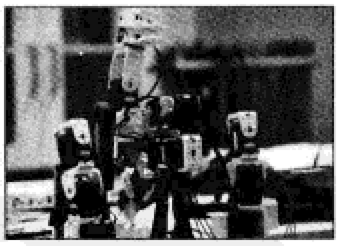
瑞典发明机器人芭蕾舞演员

据国外媒体报道，一位戏剧导演同舞蹈教练、计算机科学家联手发明了机器人天鹅，可在柴可夫斯基的舞曲下表演芭蕾舞。他们声称机器人的初次表演吸引并打动了在场的测试观众。

瑞典某大学的计算机科学家拉尔斯阿斯普伦德和戏剧导演凯斯丁，在一次关于机器人究竟能在多大程度上模仿人类的讨论上迸发出这个灵感。"我们只是想表达机器人并不仅仅是有功能的工业机器，他们也能有自己的情感。"

这个1m高的机器人有19个关节，基本能满足跳芭蕾舞所需要的柔韧性和灵活性。专业芭蕾舞演员、舞蹈教练阿萨为机器人编制了长达4分钟的舞蹈，以配合柴可夫斯基的经典曲目《天鹅湖》。

"整个舞蹈过程非常流畅，"凯斯丁说，"这只机器天鹅为了生命而斗争所展现出来的绝望、优美和脆弱，没有人能够抗拒。"她认为机器人总与战争、工业等联系起来，实在是太狭隘。



日本研究机构公布一款人形手机

由日本京都国际电气通信基础技术研究所等单位共同开发的一款只有手机大小的通话机器人——Elfoid的试制品于3月3日亮相东京。据称，它主要针对独居老人与孙辈通话等场景开发，能让人感觉到通话对象的存在。

Elfoid全长约20cm，可握在手中，表面包裹了一层乳白色的人造橡胶，质感如同肌肤般柔软。其使用体验完全基于人类设计，可以算是一个主攻通信领域的智能机器人。它的触感近似人类皮肤，麦克风设置在头部的位置，正在使用的时候胸腔会闪现蓝光，而处于待机状态的时候则会发出红光。其头部可以发出较大音量，人们可以将它握在手中，看着Elfoid的脸通话。

Elfoid是去年8月发布的一款机器人的缩小版，今后科研人员还将进一步研发，让机器人能根据通话对象的声音及图像转动手、颈等部位。

大阪大学教授石黑浩表示，对那些希望实际感受通话对象存在的人来说，Elfoid的利用价值要比智能手机或普通手机更高。

瑞士科学家设计空中悬浮机器人

随着科学技术的日新月异，现代机器人表现出更加优异的性能，比如机器人可战胜国际象棋大师，勇夺常识智力竞赛冠军等。而现在这款样方机器人可在空中表演精湛的球技。瑞士科学家设计的这个空中悬浮平台，通过彼此击打可使球在空中反弹不落地。发布在YouTube网站的一段视频显示，该空中悬浮机器人颇似1987年的科幻电影《鬼使神差》中在空中被击打不着地的球。两个样方机器人击打网球20多次，其间网球并未落地。

据悉，样方机器人并未受人们的操控，而是通过维康动态捕捉系统实现精确动态控制，并受控于两台计算机。该机器人基于创新性"蜂鸟"飞行器技术，通过附加在"手臂"上的4个螺旋桨可在空中飞行。此前，分布控制自治系统实验室的研究人员曾使用一种飞行机器人盘旋在钢琴上方，然后有序击打钢琴键演奏出乐曲。现在，研究人员将网球拍附加在机器人顶部，使它能够反弹网球。同时，该系统具有校准功能，能在球拍上较小的区域反弹网球，以此作为"最佳击球位置"。

瑞士分布控制自治系统实验室对样方机器人的设计颇感满意，不过YouTube网站的一个评论对这款新型机器人进行的概括描述则是："世界上最酷的事物总是最无用的。"

机器人总动员

◎金今

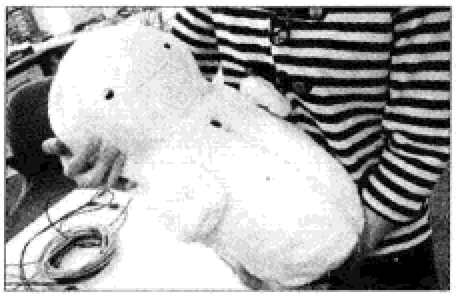
搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

日本新出婴儿机器人Babyloid

作为世界上机器人研究和生产的大国，日本人习惯于制造各种机器人来设法取代他们日益缺少的人口资源。曾有研究表明，老年人照看小孩可以减少老年痴呆，而日本人口老龄化严重，且新生人口出生率不高。为了帮助和照料这些老人，日本近年来推出了很多机器人婴儿或机器人伴侣，但这些机器人大多过于生硬，外表也跟可爱没有丝毫联系。最近这个名为Babyloid的机器人婴儿却与其他相同类型的机器人大不相同。

Babyloid由日本中京大学研发，其用途是作为康复机器人，帮助那些抑郁的老年人舒缓心情，和日本以前推出的机器人Paro、灵活的机器猫有些相似。Babyloid长43cm，重2.2kg，能挥手、摇头、眨眼、发出婴儿的声音。脸部的LED灯可模仿人的表情，装有麦克风、光学和热电传感器，能感应人的触摸。一旦感觉到被触摸，Babyloid会做出类似婴儿的反应，比如发出哭声或是笑声、摆动手臂、面部表情变化等等，以期待接触者更近一步的安抚举动。在这一点上很类似电子宠物，但其触感要更好一点。



Babyloid现在已经应用于一些康复中心，预计售价为600美元。

机器宇航员R2被送上国际空间站

美国“发现”号航天飞机已经完成绝唱之旅，这也意味着美国航天飞机终结时代的到来。然而这次飞行也将开启一个新的时代——首次有人形机器人协助宇航员完成各种作用。这个机器人就是NASA花费15年研究和开发的“Robonaut 2”，简称为R2。

R2的主要组成部分有头、躯干、双臂和双手，腰部以下由可以伸缩与弯曲的支座支撑，重量为149.6kg，从腰部至头部高1.01m，主要由铝合金和非金属材料制造。严格来说，R2只有一条腿，这是NASA为了避免操纵双腿机器人带来昂贵成本而采用的设计，但这种独腿设计并不太糟糕，它能与宇航员进行太空行走所用的脚步限制器相协调。这种机器人也能安装在轮式平台上。

相对于前辈R1，R2同样具有操作太空舱外活动工具的能力，并能协助宇航员工作。安装在机器人头部的视觉传感器，以及手指上的压力传感器，使它能以接近人类的精准性动作进行操作。R2的手有12个自由度，手腕则有两个自由度，R2的手指活动关节比R1多4个，拥有350个传感器与38个处理器，指尖装有接触式传感器，这使它能完成一个宇航员需要带着专用手套才能完成的精密任务。

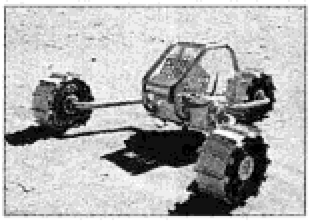
Robonaut 2共耗费了250万美元，NASA表示R2此后将长驻国际空间站，不再返回地球。

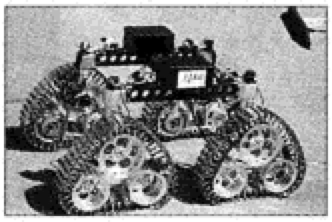
日本探月机器人完成行走试验

日本宇宙航空研究开发机构于3月2日进行了两种月球探测机器人的行走试验，取得了比较满意的结果。研究人员还挖掘了一个直径5m、高度差最大达到50cm的类似月球环形山的圆坑，测试机器人是否能够越过圆坑，以及是否能够爬上圆坑的斜面等。

其中一个叫 Tri-Star IV的机器人是宇宙航空研究开发机构与东京工业大学联合研制的，长宽各 180cm，高70cm，重 40kg，能够以 10m/s 的速度行进。为了使它能在月球环形山内壁等陡峭斜面上行走，特意设计了三条腿，即使跌倒，也能够通过让腿变形而再次站起来。这种机器人预定在 2025 年左右投入使用，届时将负责在月球表面收集岩石。靠近岩石以后，它的三条腿就会张开，降低躯干部分，然后伸出耙子一样的工具进行收集。在试验中，机器人成功完成了预定的行走和收集岩石等动作。

另一个“轻量行走机器人”是一种轻型机器人，长宽各80cm，高50cm，重16kg，拥有4个三角形履带式轮子，可以通过扩大与地面的接触面积来分散压力，从而不会陷入沙地中，预定2015年左右在月球表面设置观测器械的时候使用。试验表明，这种轻型机器人能够在平缓的斜面上行走，即使地表松软也不会下陷，但在比较陡的地方会出现轮子严重倾斜的现象，还需要进一步改进。





上海推出首家“机器人餐厅”

2010年上海世博会期间，曾经在上海企业联合馆亮相过的一批“机器人厨师”，吸引了众多参观者。这些“机器人厨师”会做600多道菜，而且烹调过程和菜肴口味都是标准化的，现在它们有了自己的店堂了。3月初，首家“机器人餐厅”在上海市中心悄然开张。

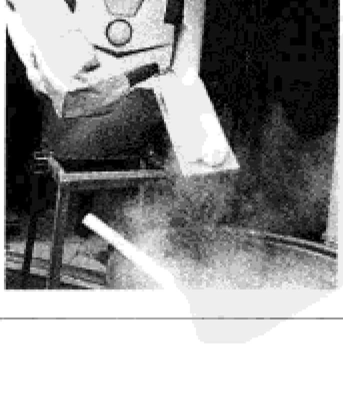
这家快餐店位于上海市中心繁华的南京西路上，餐厅中有两位“机器人厨师”，它们大约有2m高。根据工作人员事先设定的程序，“机器人厨师”能够独立完成装料、加水、旋转、搅拌、翻炒等一系列烹调工序。短短两三分钟，一道菜就出锅了。到目前为止，“机器人餐厅”中有宫保鸡丁、麻婆豆腐、水晶虾仁等8道菜特意标注是“机器人厨师”制作的。

这家机器人餐厅开张伊始就受到了上海市民的关注，前来就餐的市民们对于这两个“机器人厨师”的兴趣要比它们做的菜大得多，至于味道如何，已经不那么重要了。

小面馆走出来的刀削面机器人批量上市

刀削面机器人的发明人崔润全是张家口市阳原县的一个普通农民，他从小善动脑筋，在生活中总能搞出点儿小发明提高工作效率。3年前，崔润全想做刀削面挣钱，但他又没有削面的手艺，于是就萌发了做一个能代替人手工削面的机器的念头。依靠平日里积累起来的机械知识和强大的动手能力，经过一个月的努力，崔润全终于用废旧零件做出了一个刀削面机器人。

这台机器人经多家媒体报道后，迅速家喻户晓。目前这台刀削面机器人已经投放市场。从2月10日起到现在，首批产出的100多台刀削面机器人已被来自全国各地的客户抢购一空。 据崔润全介绍，新上市的刀削面机器人与以往相比，最大的特点是削面更精准，通过对削刀姿势的调整，能够按照全国各地的特色风味削出宽窄各异、形状不同的面片儿。目前企业正考虑将电脑程序植入机器人当中，达到用简单语言交流的效果，努力提升产品的技术性能，满足用户需求。



英国研制仿真机器人辅助治疗儿童自闭症

如何让患有自闭症的孩子走出自己的世界？最近，英国的研究人员就使用了一种仿真机器人进行辅助治疗。这就是仿真机器人“卡斯帕”。它的身上装有多个触觉感应器，当它被挠痒、拍打之后，会做出相应的类似人的微笑、皱眉、眨眼等表情，还能用手势表达。

既然机器人是模仿人类的反应，那为什么不让真人来做这些事呢？那是因为机器人的反应一般都是被动而固定的，不会对自闭症儿童产生太大的压力，所以，对自闭症的孩子来说，与卡斯帕打交道就不会像他们与正常人打交道时那样，出现心不在焉或者紧张的情况了。

目前，英国赫特福德大学希望能够有足够的资金支持，创造出更多的“卡斯帕”，帮助更多自闭症孩子走出自己的世界，提高他们与他人互动的能力。

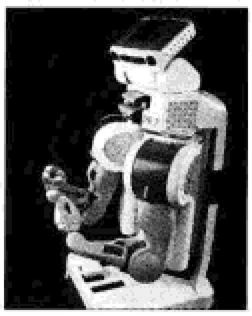
法国仿人智能机器人3月亮相天津

曾在世博会上大出风头、人见人爱的法国馆吉祥物——仿人智能机器人NAO在3月亮相天津，参加在天津工业大学举行的2011年智能控制与信息技术国际学术研讨会(ICICIT 2011)，这也是NAO首次参加我国国际学术会议。

NAO机器人由法国公司研制，是目前世界上应用最为广泛的仿人智能机器人，在上海世博会期间入驻法国馆。NAO身高58cm，重4.3kg。它圆圆的脑袋里装有中央处理器，脑门上有个触摸传感器，眼睛能够发射红外线，耳朵是个扬声器。

NAO机器人目前被广泛应用于计算机科学、人工智能、通信工程、医疗、自闭症治疗等多个领域，小家伙还在多所世界名校协助完成教育教学任务。

可能成为同事的超智能型机器人



位于美国加州的威洛机器人研究所由曾在谷歌公司从事搜索引擎设计的斯科特·汉森创办。该研究所新开发的一款机器人PR2，身高150cm，有两个胳膊，于2010年9月问世，定价40万美元，三星公司是其第一批用户之一。

PR2 由工程师Willow Garage制作，基于斯坦福大学个人机器人平台开发而成。从威洛机器人研究所提供的视频中可见，它能从冰箱里取啤酒，还会打台球。

PR2会依照物品上的辨识码对冰箱内部的物体进行识别，以确定哪些是主人选择的啤酒。如果没发现目标啤酒，它会关上冰箱门回到之前的位置。Willow还希望给它增加人脸识别功能，让PR2 在拿回啤酒后不会认错主人。而用户可通过一个在线程序方便地控制PR2 为自己拿啤酒。

与其他价格相对低廉的机器人相比，PR2能解决更多办公室问题，如无需下达指示就去开门、电池不足时会自动插上电源为自己充电等。

机器人医生“达芬奇”在东北首次登台手术

“达芬奇”手术机器人系统是美国航天航空局等联合开发的，它的手术特点是精细、准确，能将手术造成的创伤降到最低点。机器人身高近1.8米，拥有“三头四臂”。它由主控台、移动平台和三维成像视频影像平台3部分组成。3个看似独立的平台在为病人实施手术时虽然各有分工，各司其职，但相辅相成，紧密关联。手指头随时变换，可以是止血钳，也可以是手术刀，还可以是电刀。

首位接受“达芬奇”治疗的患者刘先生今年40岁，右侧腹痛10多年，一直当成胃病治疗，但近日病情加重，检查发现是胆结石塞满胆囊，并且出现了急性胰腺炎。胆囊息肉随时会出现恶变。沈阳某医院肝胆外科周主任再三考虑，并组织专家讨论，决定采用医院最新引进的“达芬奇”手术机器人为其实施胆囊切除手术。

3月6日上午9时许，刘先生的胆囊切除手术开始，手术在10时45分顺利完成。机器人“达芬奇”的双手灵活程度不亚于真正的医生，它的能耐除了不能应用在骨外科和脑外科手术领域外，其他的外科手术都可以，这次做胆囊切除手术只是小试牛刀。

“秘书型”机器人HRP-4

位于日本东京的川田工业公司与国家高级工业科技学院联合开发了一款新型类人机器人HRP-4，有望成为未来办公室里的“新宠”。1月28日，川田公司开始向世界各国的研究机构和大学推销这款机器人，价格为35万美元。

价格虽然看似昂贵，但试想一下，HRP-4不会在上班时间泡“脸谱”等社交网站，不会沉迷于研究自己钟爱的橄榄球队阵容，也不会向老板要求延长午休时间。如此来看，这一价格似乎也不算太离谱。

HRP-4身材娇小，高约150cm，重约40kg，是HRP家族中最小、最轻的一位。它拥有34个关节，行动灵活，具有发送邮件、冲泡咖啡、识别同事面孔等多种功能。

在最近的展示中，新的HRP-4C应用了电脑合成歌声的VocalListener技术，以及使机器人的面部表情更为自然贴切的Vocawatcher的技术，已经俨然是一位美女歌手了，可以会声会色地唱歌跳舞。

“机器人菜农”将亮相菜博会

在今年山东寿光菜博会上，以科技为主题的7号展厅将推出智能化蔬菜机器人，它们不但能种菜、采摘蔬菜，还能对蔬菜病虫害进行诊断，对蔬菜生长实施日常管理。

据介绍，此次菜博会推出的智能化机器人是由菜博会组委会及几个大中专院校联合开发的，分为智能化蔬菜管理机器人和智能化采摘菜果机器人两种。

目前在展厅内正在建设蔬菜机器人运行轨道，轨道建设完成后，将在其周围种上蔬菜。届时，管理机器人在蔬菜管理平台上行走、转弯、后退，通过无线传输、自动导航对蔬菜生长环境的温度、湿度、光照及病害等状况进行监测，在蔬菜害病时根据病株叶片的颜色变化，自动选取不同的防治方案。而采摘菜果机器人则根据菜果的颜色辨识成熟度，并对成熟的蔬菜果实进行采摘。

目前智能化机器人正在加紧制作中，预计3月底可进行调试，4月上旬即可正式“落户”菜博会7号未来馆。

中国首次使用水下机器人完成南大西洋科考

近日，中国第22航次大洋科学考察队在第二航段考察中首次使用由我国自主研发的3500m无人缆控潜水器（ROV）进行了2000m水深海底调查作业，圆满完成了对南大西洋多金属硫化物新区的探测工作，成功采集了海底多金属硫化物和生物样品，并同步拍摄了高清晰海底照片和作业全程视频影像。此次ROV系统的使用标志着我国在大洋科考研究领域装备技术已发展到国际先进水平，将引领我国大洋科学考察向“机器人时代”迈进。

此次下潜由上海交通大学水下工程研究所和国家海洋局北海分局大洋调查设备技术管理中心联合组成的操作团队完成。为准确、高效地完成此次调查任务，本航次首席科学家陶春辉、船长曹业政以及无人缆控潜水器组专家崔运璐、吴超、谷志珉等充分准备、多次商讨，并制订了详细的作业方案。

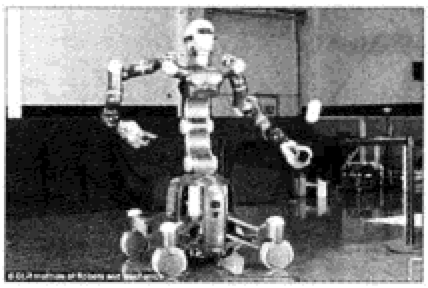
据悉，本次作业区域为南大西洋中脊14度大洋中脊多金属硫化物新区。在船动力定位和水下超短基线定位系统的配合下，无人缆控潜水器下潜70分钟，准确抵达2000m水深海底作业区。通过同步视频观测，成功对南大西洋多金属硫化物新区进行了探测，验证了此前对该区域为多金属硫化物高富集区的初步推断。经过两次精确定点下潜，无人缆控潜水器顺利采集到了多金属硫化物、岩石、生物和水体等样品，并获取了400余张高清晰海底照片和作业全程视频资料。

机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

德国研制出接握能力强并可冲咖啡的滚轮机器人



德国航空航天中心（DLR）机器人学和力学研究所最新研发了一款滚轮机器人，不仅具有超强的接握能力，而且善于冲调咖啡。

这款机器人的“男性”版叫做“滚轮贾斯汀”（Rollin’s Justin），是世界上最先进的机器人之一，它能通过视觉和触觉进行精细、灵敏的动作，完成诸如接球、泡咖啡等任务。一名研究者向它抛去一只球，贾斯汀通过视觉反馈计算预测出球的运动轨迹，伸出它那拥有4个指头的机械手将球握住。紧接着，研究者向它同时抛去两只球，它也准确地接到。贾斯汀的空间识别和手眼协调能力让人惊叹。

贾斯汀还有一个同伴，即“女性”版机器人“欲望”（Desire），它也拥有相同的能力。如果把它们与苹果平板电脑iPad相连，使用者便可以通过iPad控制他们移动。

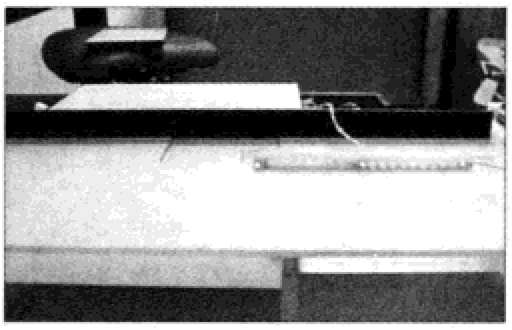
贾斯汀和“欲望”可以为行动不便的人完成很多事情，它们灵敏的4根手指能够依照指令娴熟地帮主人冲调咖啡，这一技能是智能机器人的重大突破，受到很多人的欢迎。

能够快速运动的毛毛虫软体机器人

美国塔夫茨大学的研究人员研制出了一种外形类似于毛毛虫的软体机器人，这种机器人不但十分灵活，还具有和毛毛虫一样的滚动弹射能力。相关研究发表在2011年4月27日出版的《生物灵感与仿生学》杂志上。

为了模拟毛毛虫的运动，研究人员设计了一个名为GoQBot的软体机器人，该机器人长10cm，以硅胶和嵌入式形状记忆合金驱动线圈制成。之所以将其命名为GoQBot，是因为它能够快速蜷缩成一个“Q”形，滚动速度可达每秒0.5m。GoQBot专门对毛毛虫进行了功能形态学的模拟，并在其下部的侧面安装了5个红外线发射器，便于高速3D运动跟踪装置的拍摄。同时，其下部还放置了一种测力板，可对毛毛虫机器人的弹射力量进行精确测量。

为了使毛毛虫机器人在100ms内快速改变体型，GoQBot采用了一种有效机械协调机制。动物的这种协调能力主要通过肌肉的非线性耦合来实现，而对于为何毛毛虫不频繁使用这一特殊技能来进行移动的疑问，研究人员解释称，这种蜷缩弹射只在较为平整的平面上才比较有效，整个过程需要耗费大量的能量，并且结果还不可预料。



GoQBot所采用的技术提高了机器人的速度和活动范围，能使机器人在城市救援、建筑物检测以及环境检测等领域发挥作用。今后无肢爬行机器人可以通过滚动弹射的方式，更快速有效地部署到灾难现场——机器人可以先快速滚动到一个区域，而后再通过爬行的方式接近预定目标。

以色列发明“机器人长裤”，可辅助截瘫者站立行走

由以色列的阿尔戈医疗技术发明的“再行走”（ReWalk）机器人设备，首次在Naidex产品交易会上亮相。这个先驱性的仿生装置，准备作为受伤士兵的辅助设备引入英国。作为使用者的外骨骼，依靠带有电脑控制的发动机，它能够让人保持直立或行走，并在没有外人帮助的情况下上楼梯。这个复杂的系统将会帮助截瘫者更好地生活。

这个技术已经在意大利某专业脊椎损伤医护单位投入使用，随后将进行广泛的测试，今年下半年将会发布消费者试用版，人们可以在自家使用这个系统。这个设备完全互动，将给予用户前所未有的行动自由，以及对外骨骼移动的完全控制。该系统预计明年初投入市场，价格在5万英镑左右。

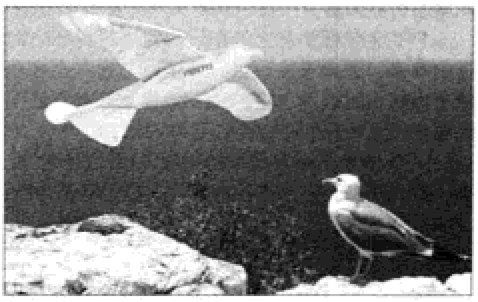
灵活程度不逊真鸟的机器鸟

德国费斯托（FESTO）公司的科学家发明了一种叫做SmartBird的机器鸟，它可以自主地启动、飞翔和降落，灵活程度可以和真正的飞鸟相媲美。

SmartBird的重量只有450g，这只极轻量的“鸟”非常符合空气动力学原理，并具有极佳的灵活性，可以在飞行中通过摆动尾巴或转动脑袋来改变方向。

这款机器鸟的设计灵感来源于海鸥，其身体内部装有两个旋转轮，这两个旋转轮与蒸汽机车的车轮类似，与牵引杆相连，通过转动来控制翅膀上下拍动。它的双翼不仅可以上下拍动，还可以通过扭力电机按照一定角度扭转。

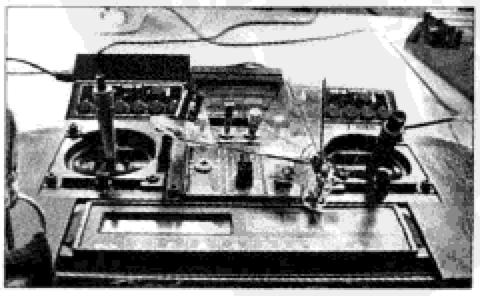
SmartBird可通过无线电对讲机进行控制，如果切换到自动模式，也可自行在空中翱翔。FESTO公司的一位发言人称，它极简的用料和轻量结构可将资源和能源的消耗降到最低，希望其技术原理可以用到气动领域和节能领域。



微型仿生飞行机器人

2011年4月7日的国际仿生机器人学术研讨会上，来自各国高校工程学院的学生们向人们展示了最新的仿生机器人。其中有一个被号称为“最小的飞行器”的仿生机器人飞行器，它看起来就像一只机器蜻蜓，从头到翼尾仅10cm，重量3g多一点。这个微型仿生机器人因为体积实在太小，因此除自身的芯片和电池外，就只能再安装一个0.4g重的微型摄像头了。

但别看它个头小，飞行功能可是一点都不差。发明者们模仿蜻蜓翅膀振动的原理，做出了两翼振动陀螺仪，能够通过高速运动产生不同于周围大气的局部不稳定气流，并利用气流产生的涡流来使自己上升，这种仿生翼技术对很多领域都有重要意义。



用于慈善募捐的韩国机器人DONA

现在机器人也会乞讨了，最近有一个名为DONA的机器人，专门用于慈善募捐。只要用户给它前方的小罐中投入硬币，它便会对你眨眼并鞠躬表示感谢。

DONA 是一个交互式向路人募捐的机器人。如何募捐？穿着红衣的小DONA面前摆着一只铁皮罐子，DONA有时会低头看它一眼，然后貌似困惑地眨眨眼睛：为什么罐子还是空空的？这个有点“萌”，还有点可怜巴巴的样子，让人很难忍心不去理会它。

DONA是韩国设计师金敏秀（音译）的作品。它的“收钱”能力不错，吸引来的小孩子尤其多。也许很多人向罐子里投下硬币只为看看DONA有什么反应，而DONA每次都会很懂礼貌地鞠躬表示感谢。

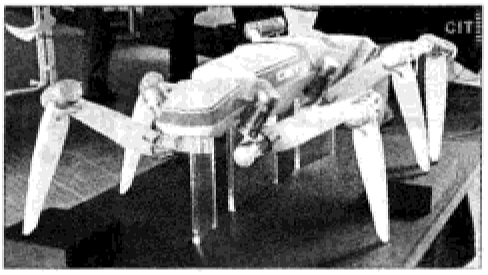
设计师表示，面对有困难的成年人，很多人都已麻木，不太会像看到无助的儿童和动物一样爱心泛滥，而DONA的形象能“刺激”人们捐款。有韩国媒体称，这台小机器人堪称横跨行为科学、社会学和机器人技术领域的最佳作品。

德国研制六足虫型机器人

德国Bielefeld大学CITEC中心的研究人员正在开发这个名为HECTOR的虫型机器人。它有6条腿、18个关节，使用碳纤维增强塑料制作，重12kg，能够负载30kg的物品。

HECTOR的主要任务是帮助科学家们研究真正的虫类是怎样协调身体各部分达到快速且优雅移动的效果。

总的来说，HECTOR还是一个正在研发中的机器人，研究人员计划在它身上模拟昆虫的运动方式，同时也会加入一些信息收集系统，让HECTOR潜入一些地方完成某些信息收集。



三星在中国展出居家清洁机器人

不久前，韩国三星电子推出了集清扫、拍摄及播放影像等功能于一身的家用自走式机器人吸尘器“Tango View（VC-RL87W）”，价格为79.9万韩元（约合4800元人民币）。在本次中国三星论坛上，三星就带来了这款Tango系列居家清洁机器人。

完全融入Smart Life理念的三星Tango系列居家清洁机器人，可以与Galaxy Tab、Galaxy移动终端互动，你可以直接坐在沙发上指挥Tango为你忙上忙下。

此前三星电子已经推出了利用安装在机身上的摄像头来拍摄房间影像，边识别有灰尘的地方边清扫的自走式机器人吸尘器。此次的新产品可将摄像头用于室内监视用途。当户主外出时，使用个人电脑和智能手机，也能看到家中的情形，并远程操作机器人吸尘器清扫房间。该产品还配备了照明装置，较暗的房间也能监视。

在你连指挥都懒得做的时候，Tango还能自己打扫，在没电的时候，也将会自行回到充电站充电。如果你害怕Tango四处乱逛妨碍你的工作和生活，三星提供了虚拟墙功能。将这个虚拟墙放好，Tango就不敢越雷池半步，只会在指定的一亩三分地上默默耕耘。在本次中国三星论坛上，三星还专门搭建了一个展区，现场展示Tango如何把打翻在地的巧克力豆吃干净。

科学家用机器人演示基因进化

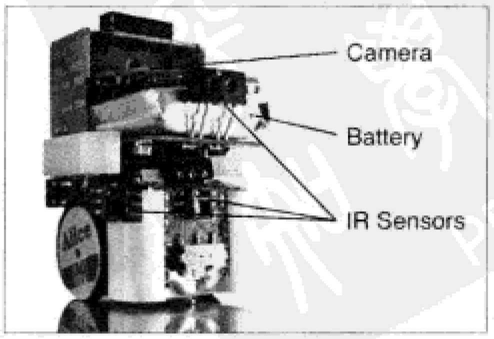
最近，瑞士洛桑联邦理工大学和洛桑大学合作，使用机器人模拟生物基因在数百代间的进化，阐明了生物学界持久争论的难题，也为汉米尔顿亲缘选择规则提供了数量证据。

汉米尔顿亲缘选择规则于1964年由生物学家W·D·汉米尔顿提出。该规则认为，如果一个家庭成员和其余家庭成员共享食物，会增加家庭成员把基因流传下来的机会，许多基因是整个家族中所共有的。也即一个生物是否和其他个体共享其食物，取决于它和其他生物基因的相似性。但验证这一规则的活体生物试验需要跨越上百代，数量过于庞大，几十年来实验几乎不可能进行，汉米尔顿规则因此长期备受争议。

洛桑联邦理工大学的机器人技术教授达里奥·弗洛里诺领导小组设计了一种机器人，模拟基因和基因组的功能迅速完成进化，使科学家能分析检测与基因特征相关的成本与收益效果。

在实验中，一旦某个觅食机器人把种子推到了正确目的地，还要决定是否与其他机器人共享它。他们还在机器人世界里创造了兄弟姐妹、堂表兄妹、非亲戚关系等社会群体。进化实验持续了500代，不断重复着利他主义相互作用的各种场面：共享多少和个体成本，这些共享现象按照汉米尔顿规则发生。

实验结果的数量和按汉米尔顿规则预测的数量惊人地相符。虽然汉米尔顿的最初理论并未考虑基因的相互作用，而在觅食机器人中模拟基因运行，增加了一个基因和多个其他基因结合的综合效果，而汉米尔顿规则仍然成立。试验证明，汉米尔顿规则很好地解释了一个利他基因何时能被传到下一代，何时却不能。



日产机器人概念车EPORO实现避撞

在第14届上海车展上，日产公司发布了其最新的EPORO技术。EPORO是“Episode 0 Robot”（第零代机器人）的缩写，代表着零二氧化碳排放和零事故。EPORO的技术设计灵感来自具有极佳“防冲撞”能力的大黄蜂和鱼群，这两类动物凭借其与生俱来的能力，可以在任何环境中自由穿梭往来。

EPORO可以和其他车辆以及基建设施进行“对话”，从而“感知”周围的情况以进行导航。在激光测距仪和超宽带网络这两种先进技术的支持下，EPORO可以实现自主行驶。激光测距仪运用了类似蜜蜂躲避障碍物的特性，可以通过激光测量车辆与障碍物之间的距离。超宽带网络（UWB）技术可以使EPORO与同组的其他车辆或道路基础设施进行通信。通过计算脉冲信号发送和接收之间的时间差，UWB短距离无线通信系统可以测量出目标物体的位置及其与自身的距离。就像鱼群的运动一样，EPORO可以通过UWB获得各车辆的方向、速度和位置，从而在车队中自由穿行，并始终与其他车辆保持特定距离。

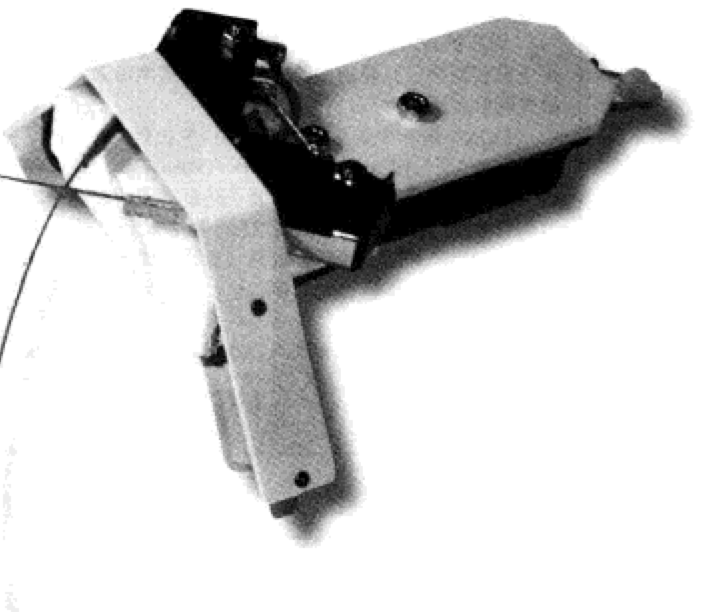
在预想的2030年零排放社会，电动车将成为道路的主宰。EPORO将行驶在非接触式充电行车道上，而电能则来自太阳能充电树收集并存储在太阳能电池板中的能量。

上海交大系列机器人亮相世界机器人大会

在5月9日举行的机器人与自动化领域的IEEE年度盛会上，上海交大发明的机器人餐厅吸引了众多眼球。惊喜并不只一个，双臂迎宾机器人、智能助行机器人、教学娱乐机器人、交龙机器人、焊接机器人、深海水下机器人……在机器人和自动化领域，上海交大发明的机器人创新迭出，精彩不断，俨然形成了一个智能服务“兄弟连”，正逐渐改变着社会和人们的生活。

其中上海交大研制的“交龙”服务机器人曾在“十一五”国家重大科技成就展上亮相。针对我国老龄化问题严重等状况，上海交大自动化系教授陈卫东牵头研发的“交龙”助老助残机器人系列，在机器人的感知、控制和人机交互等关键技术领域取得重要进展，目前研制出智能轮椅、助行机器人、护理型操作臂、机器人家居等样机系统，并在上海福利院开展了示范应用。

“交龙”导游机器人和“交龙”智能轮椅也曾服务于上海世博会生命阳光馆。“交龙”智能轮椅能够跟踪主人的引导，自动记忆环境地图，具有高精度和高可靠性的自定位能力，可以在人员流动的动态环境中完成大范围的自主导航。“交龙”导游机器人具有亲切可人的拟人外形，不仅具备与“交龙”智能轮椅相同的导航能力，装在它头上的摄像机还可以检测面前的观众，主动与人打招呼并进行语言互动。每当游客要看馆内感兴趣的展品时，“交龙”导游机器人会以最短路径引领游客到达展品位置，并通过语音和视频介绍展品内容。



PVC-Robot 之疯狂的小强——避障机器人

◎Plenilune

本文题目之所以出现“PVC-Robot”，是因为我在这里分享的机器人是用PVC材料构成了机器人基本的机械结构。所用到的PVC材料，主要就是日常我们在网络或者电缆布线时用到的PVC线槽，比较容易获得，且价格便宜，在普通的五金商店几块钱就可以买得到。虽然PVC线槽的材料硬度并不是很高，但是对于小型甚至微型的机器人，它们的体型小，对材料的机械强度要求也不高，PVC线槽算是一种很适合的材料选择，加工起来也很简单方便。相对于对金属材料进行机械加工时所需要的车床等专业设备，加工PVC线槽只是需要“大剪刀+裁纸刀+小电钻”的组合，即可完成。因此，这里的“PVC-Robot”，我们也可以理解为“低成本、易实现”的机器人DIY活动。

本文要介绍一个仅由电池、开关、电机组成的最基础的电学电路来实现控制的“机器人”。这是一个简单的避障机器人，所谓“避障”，实际上就是遇到障碍物时会转弯掉头。

我把做好的这个机器人放在一个小盒子里，由于地方窄，它的动作也比较快，看起来有点像一只疯狂的“小强”。如果把它放在地上，则会满屋子跑，追都追不上。于是，我给这个简易的避障机器人起了一个外号——疯狂的“小强“，呵呵。

基本原理

这个避障机器人采用三轮传动结构：前面左右两边的两个轮子是主动轮，各接一个电机作为动力，后轮是从动轮，起到平衡的作用。

1. 运动机理

控制前面两个轮子的转动方向就可以控制整个机器人行进的方向，其运动机理如图1所示。

2. 控制原理

在机器人的头部，我用钢丝做了两根触须，一左一右各连接1个碰撞开关，分别控制两个前轮的旋转方向。

或许在图2所示的控制原理中，有人会担心出现下述情况：在直线倒退持续了一会后，左右两边的触须都不再碰到障碍物，则两个轮子都正转又变成直线前进，然后又会遇到正前方的障碍物又会直线倒退，再直线前进……如此反复变成一个死循环。

这个问题实际上并不会出现。因为无论是左、右轮的摩擦系数有所差异，还是左、右两组电机的驱动功率有所差异，或是左、右两组电机的电源电量有所差异，又或是障碍物左、右两部分表面的光滑程度有所差异，都会导致实际中左右两边的触须碰到障碍物有一个时间差，都无法做到两边轮子同时反转，也就是说向后倒退的时候不是完全的直线而是会有所偏

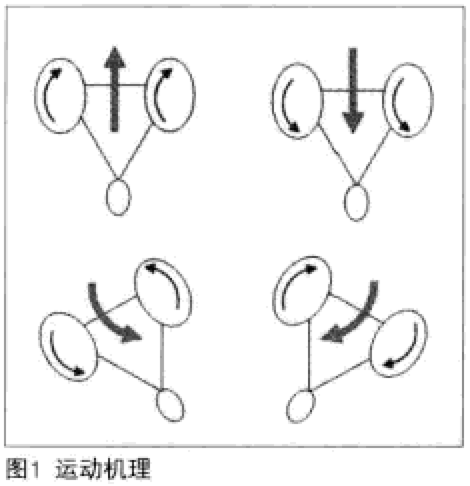


图1 运动机理

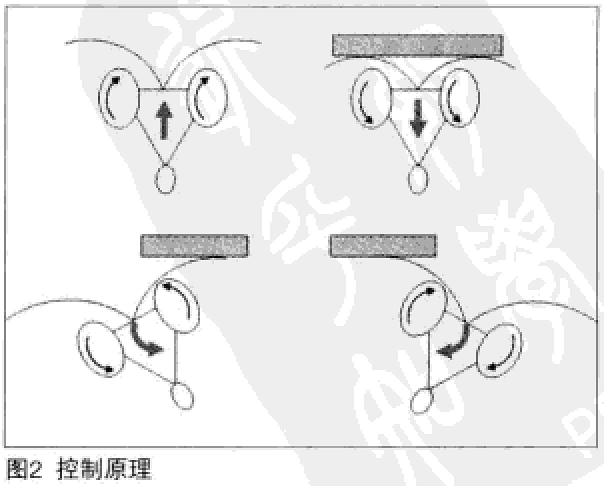


图2 控制原理

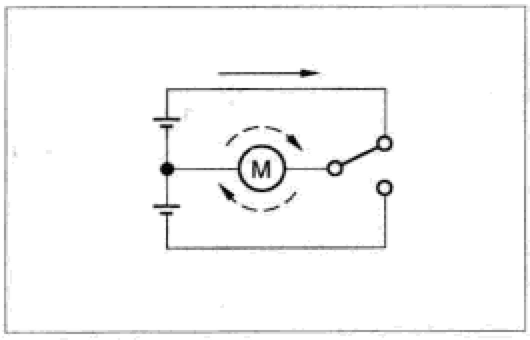


图3 基本电路

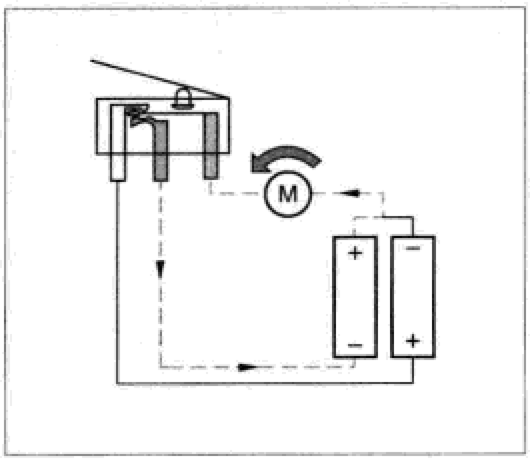


图4 其中一个电机的控制原理

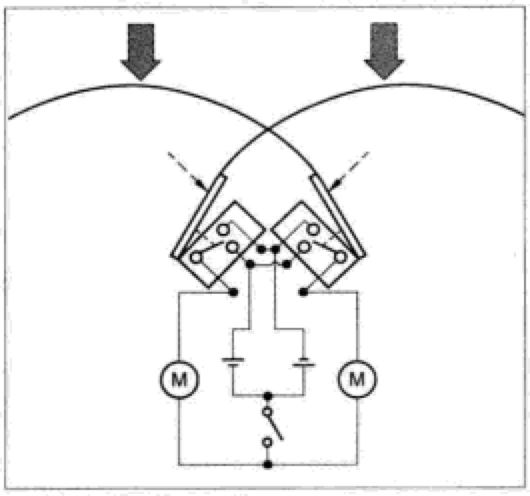


图5 完整的电路原理图

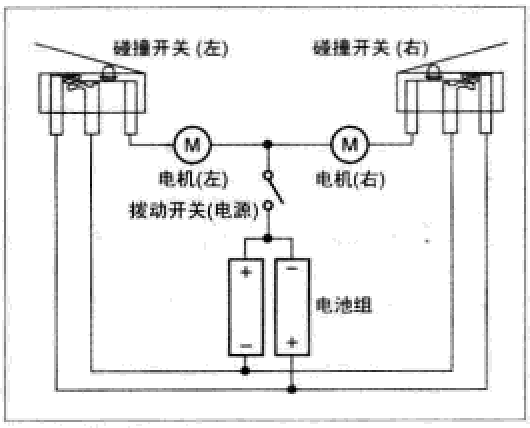


图6 电路接线图

移。而且即便第一次是直线后退，但在往复几次碰撞之后肯定会出现偏移，最终解除循环，避开障碍物向新的方向前进。

另外还有一种情况要注意，就是有时机器人会卡在墙角停顿好一阵，然后才转向。这是因为有些时候由于触须碰撞墙壁的角度比较偏，不是正面碰撞，导致碰撞的力度不够，触须无法立即触发碰撞开关响应，而机器人在电机的推动下不断地挤向墙壁，过段时间后才可能触发碰撞开关控制转向。出现这种情况，如果电机的输出功率不足，或是由于电池的电量下降导致动力不足，可能会导致机器人在墙角无力挤压触发碰撞开关，最终变成卡死在墙角。此时，要么是换大功率的电机，要么就是换新电池。

3. 电路原理

电路非常简单，由一个最基本的电学电路组成，见图3。

（1）机器人的动力是由两个直流电机提供的，众所周知，直流电机的两个电极连接直流电源，通过改变两个电极所连接电源的正、负极，可以改变电机的旋转方向（顺时针或逆时针）。

（2）电源为两节7号电池，每节电池作为一个独立的供电单元，每个电机某一时刻只有一节电池为其供电。如果前进时是一节电池供电，后退时则是另外一节电池以相反电流的方式供电。

（3）通过三引脚的碰撞开关，可以控制电机采用哪一单元的电池进行供电，而碰撞开关则连接触须，触须被挤压则碰撞开关被触发。图4所示为其中一个电机的控制原理。

（4）机器人头部有两根钢丝做的触须，触须分别连接在两个碰撞开关上。请注意，左右触须与相应的控制电机是交叉对应的，即：左边的触须连接右边的碰撞开关，控制右边的电机；右边的触须连接左边的碰撞开关，控制左边的电机。

没有障碍物时，触须没有被挤压，不触发碰撞开关，碰撞开关默认的通路，给电机供给一个“正方向”的电流，电机于是“顺时针方向”旋转。有障碍物时，触须被挤压，触发碰撞开关，碰撞开关断开默认通路，连接另外的一组通路，给电机提供一个“反方向”的电流，电机于是

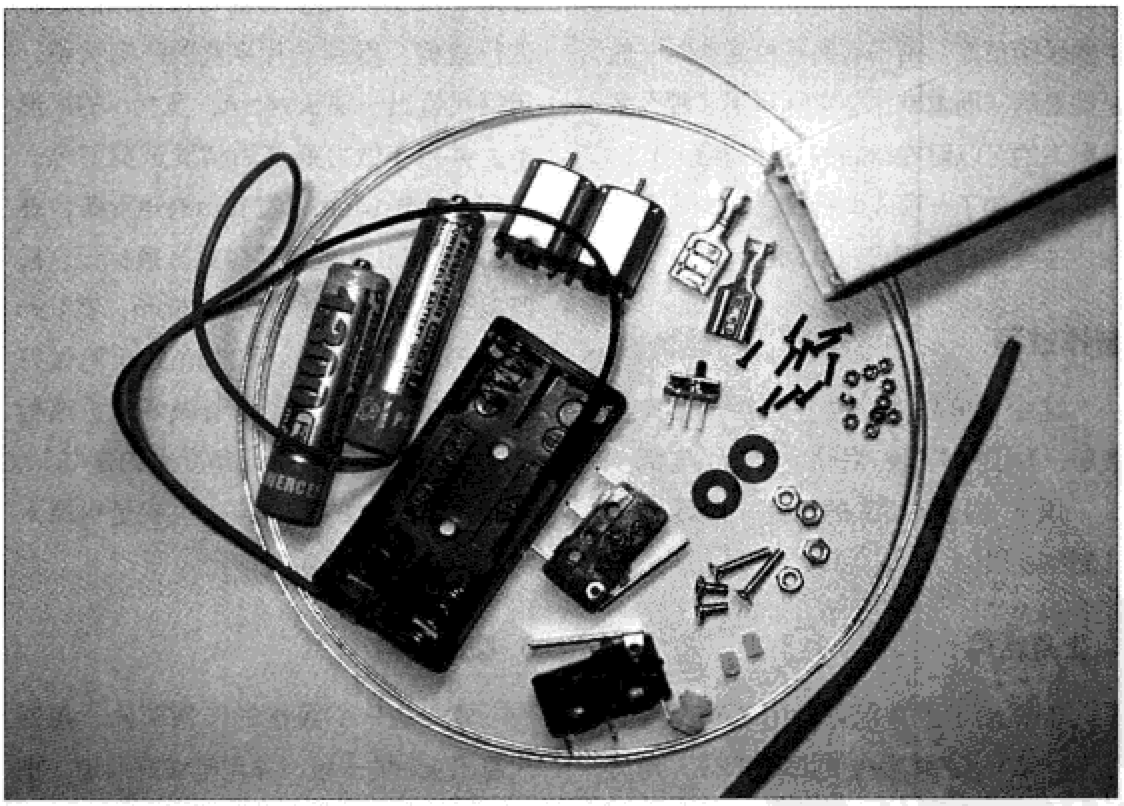


图7 制作所需材料

附表

名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
PVC线槽	2.5cm宽度	1段	4元 / 1元	主要结构材料
小电机	微型1.5V电机，轴径1mm	2个	4.7元	动力
电池	7号电池	2个	2元	电源
电池盒	7号电池盒	1个	1元	电源连接
碰撞开关	行程开关	2个	1元	障碍探测
拨动开关	小拨动开关	1个	0.36元	电源开关
小齿轮	内径0.95mm（电机轴径1mm）	2个	1元	前轮“车轮”
胶管	自行车气门芯胶管	1条	0.2元 / 0.02元	前轮“外胎”
小滑轮	用皮带轮，或者用圆珠子都可以	1个	0.5元	后轮
曲别针	标准钢丝文具别针	1个	2元 / 0.02元	后轮支架
钢丝		1段	2元 / 1元	探测触须
接线端子	插簧接线端子	2个	2.5元 / 0.1元	固定触须
M1.2×5螺丝	1.2mm直径，长5mm	9颗	4元 / 0.36元	固定PVC材料
M2×6螺丝	2mm直径，长6mm，平头	2颗	2元 / 0.04元	固定电池盒
M2×10螺丝	2mm直径，长10mm，平头	2颗	2元 / 0.04元	固定轻触开关
M1.2螺母	1.2mm内径	9颗	15元 / 1.35元	固定螺丝
M2螺母	2mm内径	4颗	2元 / 0.08元	固定螺丝
合计			46.26元 / 14.57元	

“逆时针方向”旋转。

图5所示是完整的电路原理图。为了方便大家，图6给出了电路接线图，供参考。

准备工作

本项目需要的器材比较简单，主要包括：PVC线槽、小电机、电池/电池盒、碰撞开关、拨动开关、曲别针、螺丝、小齿轮/滑轮等。

附表列出了本制作的主要器材，其中的采购预算，由于有些器材采购时一般是批量的，而本制作中实际用不了那么多（剩下的可以留在以后的其他项目上），所以另外加了一项成本折算。

主要的器材都可以从网上购买。

制作过程

这个“疯狂的小强”包括：上身、腹部、触须、前脚、后轮、电池、电机。

以下将按照加工的顺序，全程介绍其制作过程。

1. 上身结构

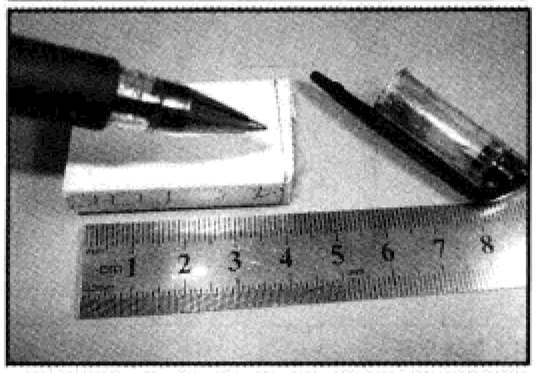
首先加工上身部分，主要是上身的外壳。拿一段PVC线槽的凹槽部分，用剪刀先大概剪下一截（大于4cm），准备进一步加工。在剪下的一截PVC线槽上，用钢尺量出4cm长度，用笔画好要剪裁的痕迹，再进行精确剪裁。再用笔在线槽的一边槽壁上画一个痕迹，大概保留2mm的槽壁高度，用剪刀沿着该痕迹精确地剪裁下来，得出如图所示的形状，即上身的结构。

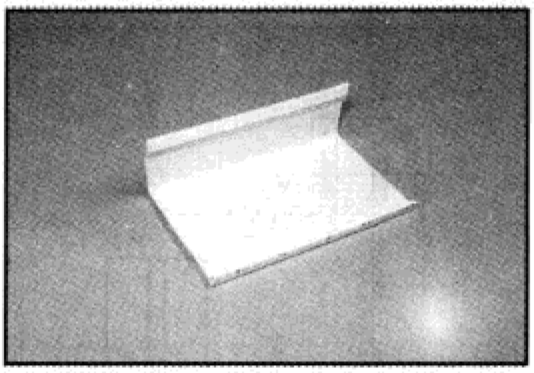
2. 前脚结构

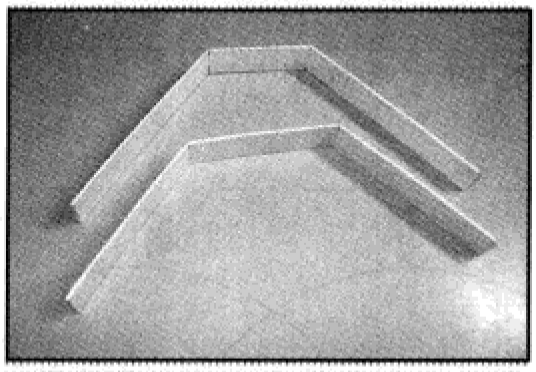
取一截PVC线槽的顶盖部分，长度要大于14cm，用剪刀沿着顶盖槽的边上进行裁剪。得到一片平整的PVC长条。用钢尺量出一块长14cm、宽1cm的矩形条，并用笔做好痕迹后精确裁剪下来。得到一块长14cm，宽1cm的矩形条，在上面5cm和9cm处用笔做好折痕标记。按照以上步骤，再裁一块长15cm，宽1cm的矩形条，并在6cm和9cm处用笔做好折痕标记。用尖嘴钳沿着做好的折痕标志，弯折两条矩形条，角度大约是45°，得到两个打折的矩形条，也就是机器人前脚的结构。

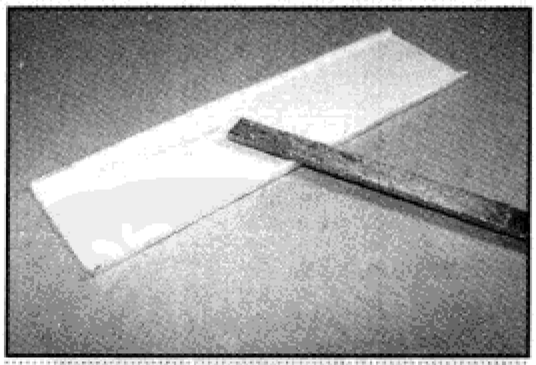
3. 腹部结构

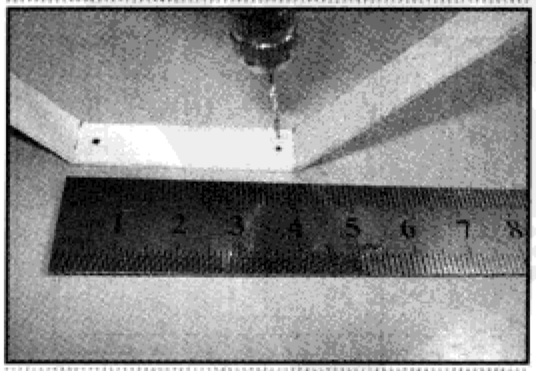
拿一段PVC线槽的凹槽部分，用钢尺量出9cm的一段，并用笔做好痕迹。把凹槽两边的槽壁，留2mm的高度，用剪

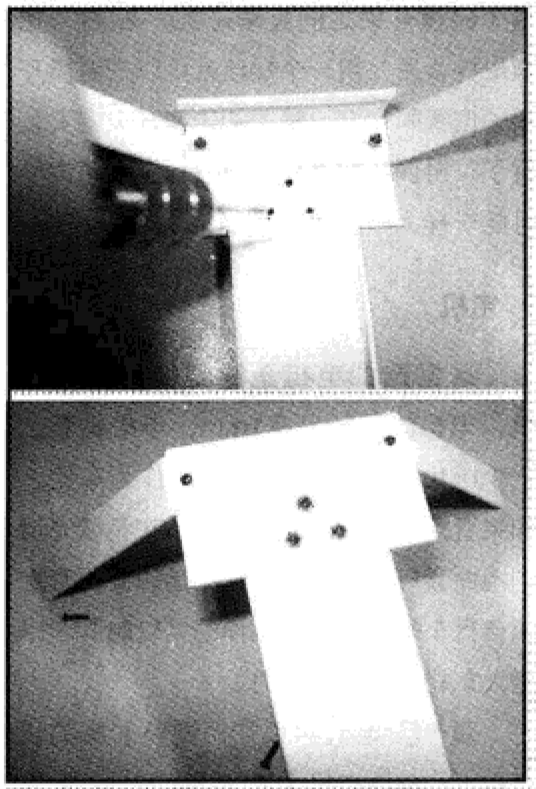

裁剪PVC线槽


1. 上身结构

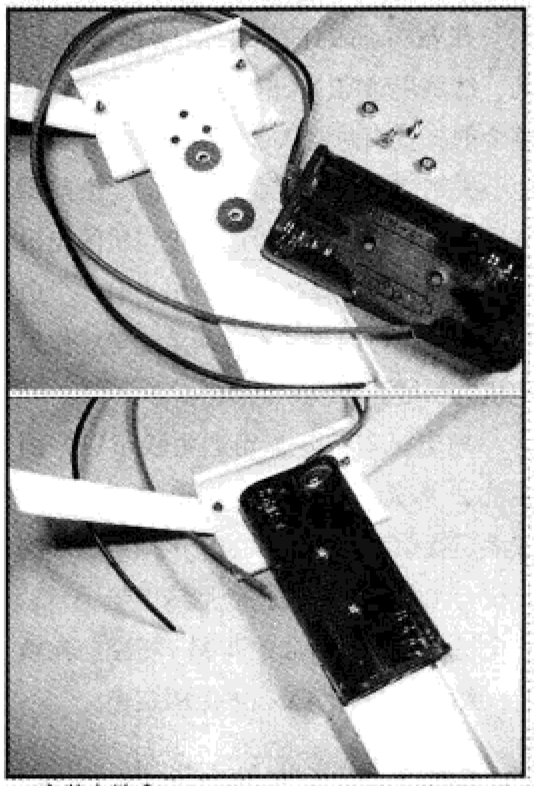

2. 前脚结构


3. 腹部结构

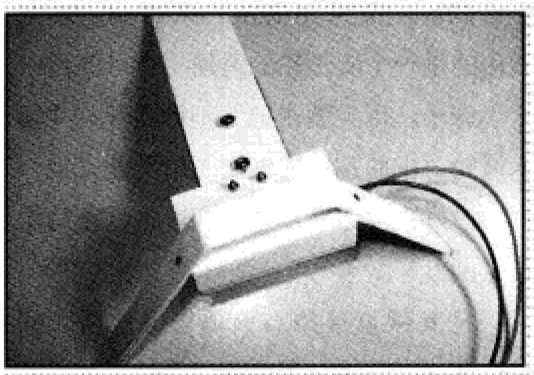

4. 组合上身与前脚



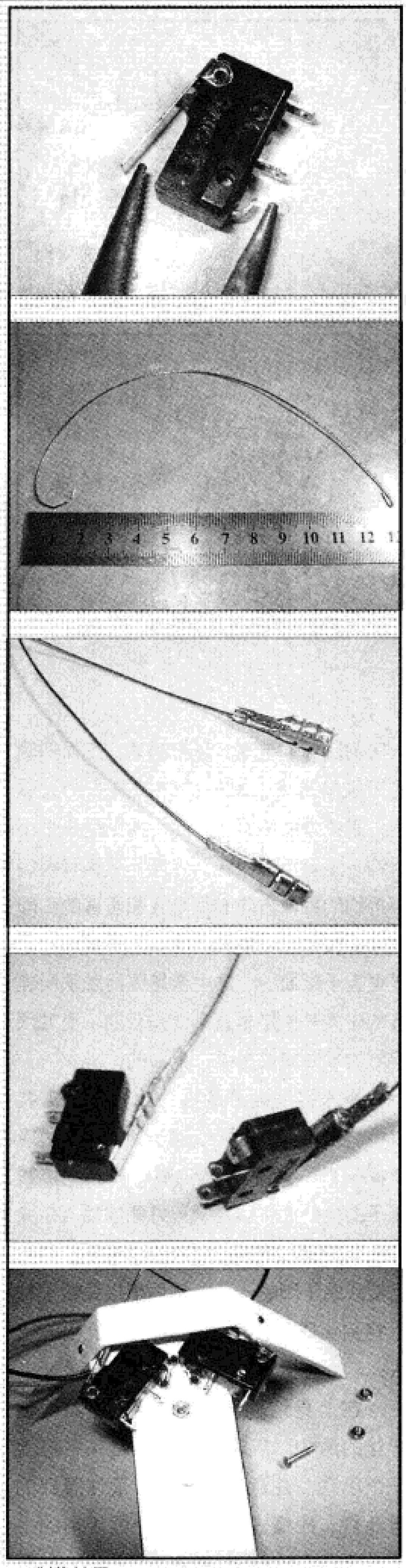
5. 组合上身与腹部



6. 安装电池盒



7. 组装前脚



8. 制作触须

刀精确剪裁，得到两侧带折边的PVC矩形条。之所以要保留两边的折边，是因为这样的结构比纯粹的片状结构强度更高，不容易弯曲。如果用剪刀剪裁时折边接口上不够平整，则可以用锉刀打磨光滑。

4. 组合上身与前脚

选择在5cm和9cm做好标志的那条前腿。用笔在中间部分距折痕大约2mm的地方做两个圆点标志。取1mm左右直径的钻头，用小电钻对用笔做好的圆点标志进行打孔。在上身对应的位置处也打孔，把前脚和上身组装在一起，并用M1.2×5的螺丝上好。

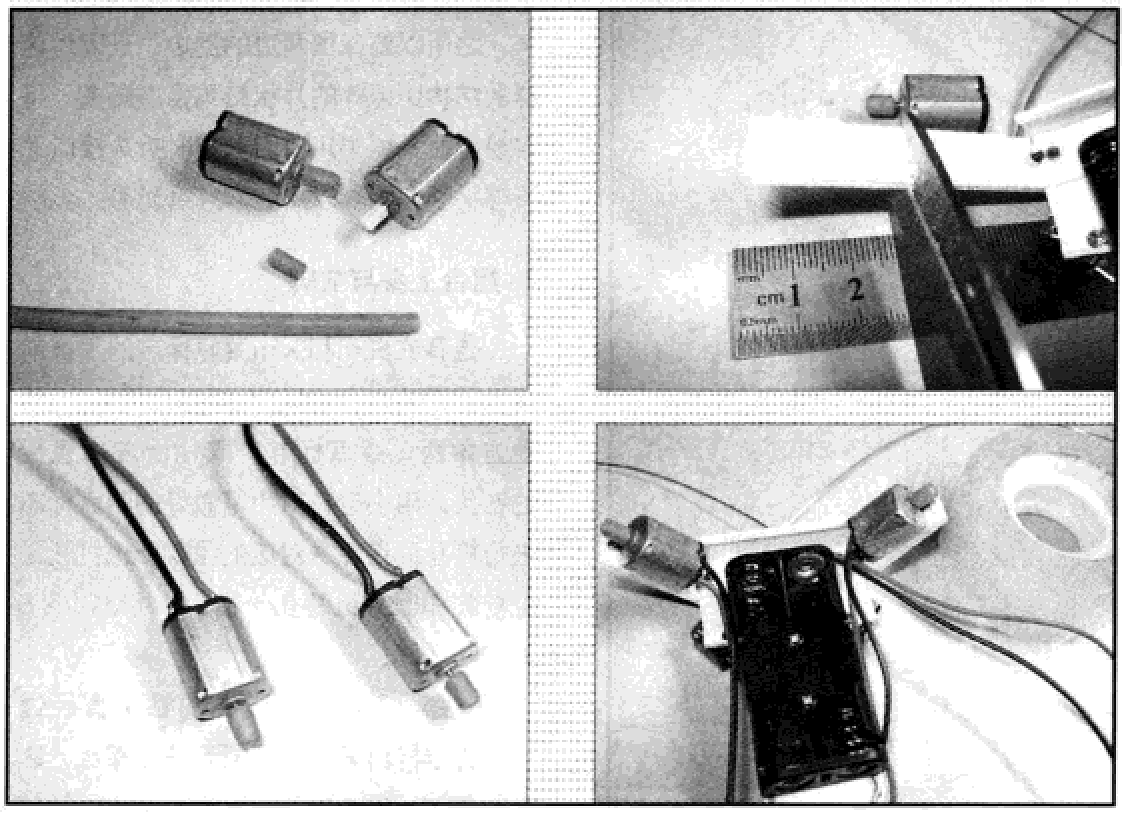
注意，如果小电钻的钻头直径过小，直接打出来的孔可能无法上螺丝，这个时候可以用小锥子把孔撑大。

5. 组合上身与腹部

把在上身结构中折边低的那一侧，对着腹部结构的宽度（大概2.5cm），用笔做好痕迹。用刻刀（或裁纸刀），对着笔做好的痕迹，把中间的折边部分去掉，并用锉刀进行打磨平整。然后把腹部结构与上身结构部分连接起来，同时，可以把前脚结构与上身结构的螺丝上好螺母固定起来。在腹部结构与上身结构的结合部位，用小电钻打好3个小孔，在3个小孔上用M1.2×5的螺丝、螺母固定好。

6. 电池盒

把电池盒放置在腹部结构的下面，并用笔对着电池盒上原有的小孔作好标记。小电钻换上2mm直径的钻头，对着笔做好的标记进行打孔。因为腹部结构的两侧有折边，所以如果直接把电池盒放置在腹部面上会无法贴合紧密，所以在打好的孔上再放置垫片。把电池盒贴合在腹部底上，用M2×5的平头螺丝以及螺母固定好。这里之所以用平头螺丝，主要是防止螺丝头太高顶出来，影响到放置电池。



9. 安装电机

7. 组装前脚

在已经与上身结构组装在一起的前脚结构上面，叠上另外一条前脚结构的矩形条。用手握住前脚结构的一只脚，把两条矩形条叠在一起，并且把前端对齐（小手指顶住的那边）。对齐前脚前端，大概离前端5cm处用小电钻打孔，并用M1.2×5的小螺丝固定好。前脚结构组装完成后，只要两条前脚矩形条的两侧前端都是对齐的，则可以确保两条矩形条之间有一段如拱桥一样的空隙，下面可以用于安装碰撞开关。

8. 触须

触须作为探测前方障碍物的传感器，是实现本机器人的关键部件。触须分为左、右两边，各由一组碰撞开关、钢丝、插簧接线端子组成。为了在较小的空间内把碰撞开关安装上，需要用尖嘴钳把碰撞开关的一只引脚折弯。

用尖嘴钳把一段钢丝折出弧度，弧宽度在10～13cm，这个宽度决定了机器人探测目标的范围。越宽的话，正面探测的范围就越大。触须的外端是一个大弧钩，避免勾住障碍物；而内端则是一个小折钩，主要用来固定。外端大弧钩和内端小折钩的平面方向必须是互相垂直的，即把大弧钩平整在桌面上时，则小折钩应该是垂直于桌面的，这主要是因为触须所连接的碰撞开关是垂直桌面安装的，而触须延展的平面应该是平行桌面的。

原来接线端子的插口比较宽，需要改小。先用剪刀把接线端子的插口沿边缘剪掉一截， 然后再用尖嘴钳重新把接线端子的插口改小，要求正好能够插入碰撞开关的摇臂。把钢丝触须的内端小折钩套上接线端子细的一头，然后把接线端子和折钩用尖嘴钳夹紧。把接线端子粗的一头，套上碰撞开关，并用尖嘴钳夹紧。

在上身结构部分，在中间3颗固定螺丝的两侧，用2mm左右的钻头各打上一个小孔。注意，小孔不要顶住腹部的电池盒。碰撞开关上有两个固定用的小孔，把碰撞开关安装在上身结构上，并用M2×10的螺丝以及螺母固定好。注意，两个碰撞开关之间夹角是90°左右。把螺母拧紧后，用一个螺丝就可以把碰撞开关的位置固定好。触须和碰撞开关就安装好了。再调整好触须的位置，左右两边尽可能一样。

9. 电机

这里选的电机是微型的低电压电机，电机的轴径只有1mm，电机轴套上一个小齿轮（内径0.95mm）作为车轮。如果直接用小齿轮作为车轮，在稍微光滑的地面会打滑，可考虑在小齿轮外再套上用自行车气门芯胶管制作的“轮胎”，以增大车轮接地的摩擦力。

量一下电机的尺寸，调整前脚的长度，大约从比电机主体（不含轴）长度再多出5mm的位置开始裁剪前脚。

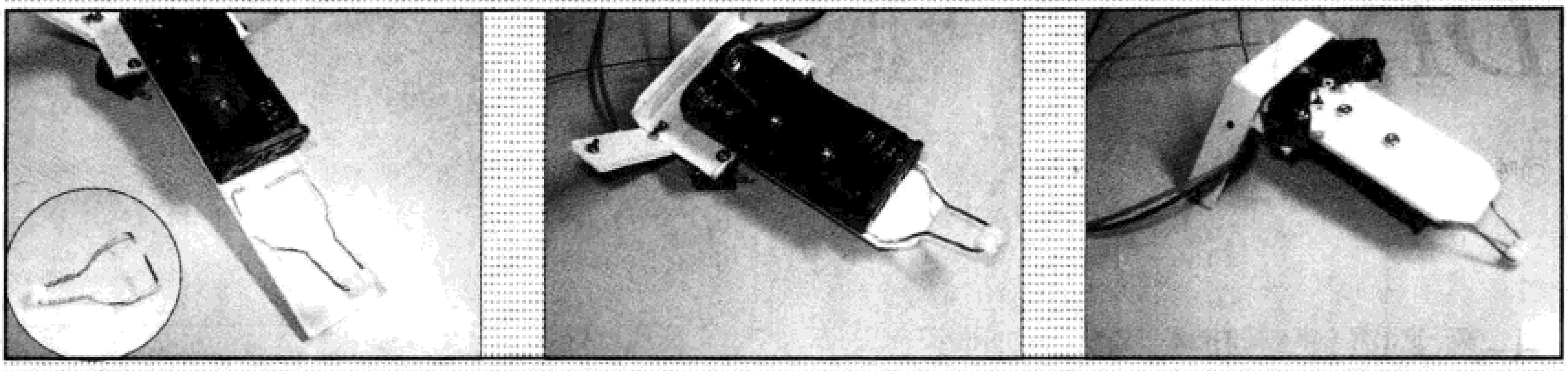
在裁好后的前脚的前端部分再打孔，然后用M1.2×5的螺丝固定好，这样整个前脚就由两层PVC材料构成，既坚固也不失韧性。因为一旦把电机固定上前脚之后就不好接线了，可以先把电机的电极引线焊好。我选择的这款电机上有一个电极的标记，可以用红、黑两色的电线作为电机的引线。

把电机安装好，用透明胶布包好固定住。 我选择的电机是方形的，可以直接固定在前脚结构上。如果选择了圆形的电机，则可以考虑先用硬泡沫做垫子，装在电机与前脚结合面的两侧，把空隙先填住，然后再用透明胶布才能固定稳。

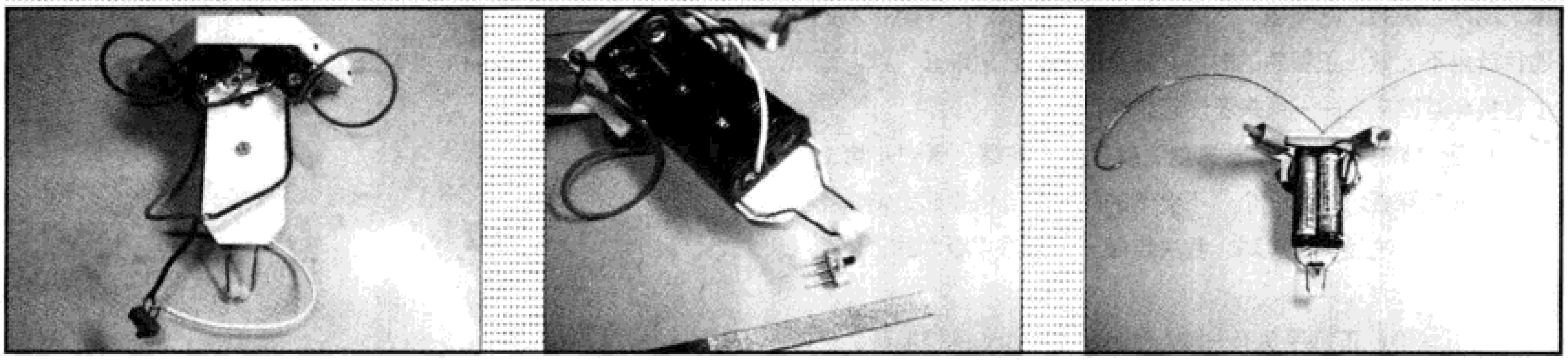
10. 后轮

后轮的支架用曲别针来制作，这里我用的是一个皮带轮的滑轮，也可以用一个小珠子。用尖嘴钳把曲别针展开，并套入滑轮。把曲别针折成如图所示的支架，再对应好腹部凹槽部分的宽度，调整后轮支架。

把支架直接插入腹部与电池盒之间的空隙（腹部这一侧是有凹槽的，所以腹部与电池盒之间是空的），用剪刀裁掉腹



10. 制作后轮



11. 整机调试

部多余的一截，并且沿着支架的样式把腹部末端剪成梯形样式，再用502 胶水把后轮支架固定好。

11. 整机调试

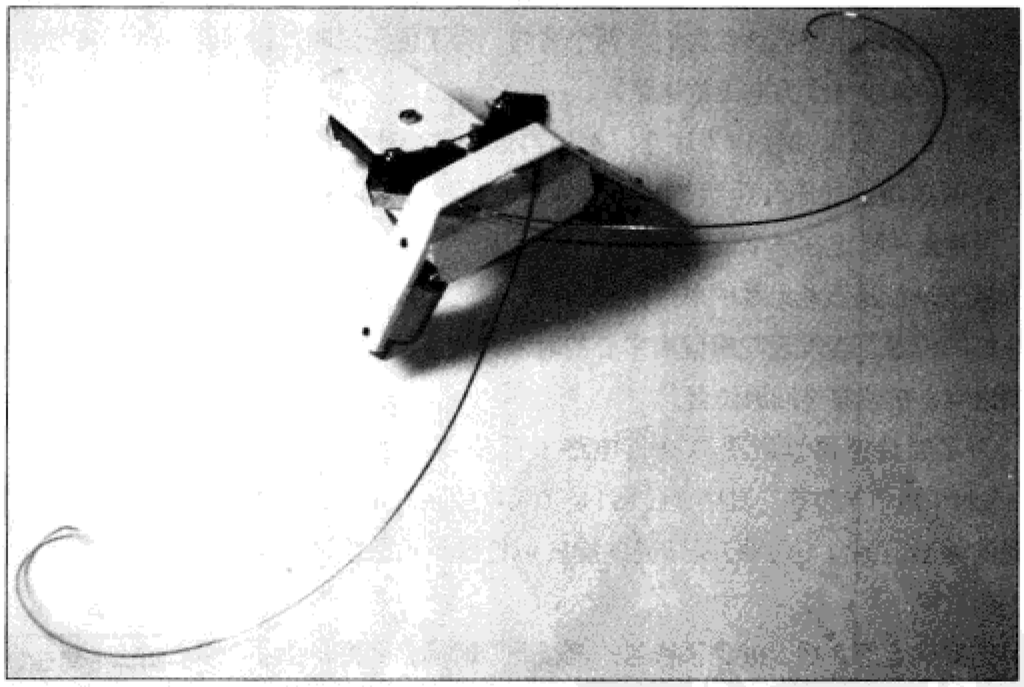
参照电路原理图，把电机、碰撞开关、拨动开关、电池等都用电线连接好。

按照之前的控制原理的说明进行电路调试，看线路是否连接正确，特别要注意电机控制效果是否正确。

电池盒的中间引线直接焊在电池盒两节电池的电极上。注意，焊接的时间不要过长，否则会烫坏电池盒的塑料，导致电极弹片脱落。

在腹部末端固定上拨动开关。为了贴合紧密，拨动开关的一侧用锉刀打磨粗糙一点，然后再用502胶水固定。特别注意，502胶水不要涂太多，否则有可能会渗进拨动开关内部，导致开关失效。

电路连接、调试没有问题后，可重新调整电线的长度，让它缩短一点，刚好适合焊接，而不会多出来。



制作好的pvc-robot——疯狂的小强

本文制作的机器人的机械结构，相对来说，是一种非常简单但又很实用的设计，希望对于本制作有兴趣和有条件制作的读者可以实践一下，真正动手了，体会才会深刻。

“独乐乐不如众乐乐”，相对于自己一个人玩，我更希望有更多有兴趣的朋友一起加入这项机器人DIY活动，想了解更多制作细节的朋友也可到我的博客上看看：pvc_robot.blog.163.com。

注：本项目资料参考自机器人天空：www.robotsky.com

DIY磁悬浮“盗梦陀螺”

◎陈武

大家一定记得去年热播的电影“盗梦空间”吧？不知道有没有人跟我有过一样的经历：早上从梦中惊醒，迷迷糊糊起床，刷牙、洗脸、吃早饭，然后去学校考试，没想到平时很熟的题目就是不会做，正着急的时候，熟悉的闹钟音乐响起，从考场上直接穿越回床上——原来还没起床呢！

这部电影中最让人印象深刻的就是那个陀螺。看过电影之后，我就盘算着怎么做一个“不会倒的陀螺”。再想起之前电影“阿凡达”中的潘多拉星球，我决定做一个磁悬浮版本的“盗梦陀螺”。

说干就干！正好手头有一块Arduino Mega168的控制板，一块L298N的直流电机驱动板，另外，有个报废笔记本的20V直流电源。那就以这几样东西为基础开始制作吧。

磁悬浮看似神奇，其实基本原理非常简单，请看图2所示的示意图（真正的电路应该包含X、Y两个方向，为了便于说明，图中只画出了其中一个方向上的电路）。

首先选一块大磁铁作为底座，然后再选一块小磁铁作为陀螺，让两块磁铁处于互斥状态。这时候的陀螺虽然可以克服重力，但是无法稳定在一个位置。

接下来就是万能无敌的单片机出马，它可通过霍尔传感器获取陀螺的位置，当发现陀螺偏离中心的时候，就驱动L298N，给线圈通电，把陀螺推回原位置。

为了让传感器读数更精确，电路里还使用了数字放大器LM358N和两个电位器。其中电位器1是多圈电位器，用来微调放大器的输出范围，电位器2是普通的旋转电位器，用来粗调陀螺的平衡位置。

方案确定好之后，就到了钱包的“减肥”时间。还好，除了单片机外，其他的都是小器件，附表是采购清单。

因为这个电路不复杂，所以直接在洞洞板上参考原理图焊好即可。为了方便调试，我没有把那两个旋转电位器焊在板子上，而是用杜邦头接口把它们引出。图3就是焊好电路时的板子，其中的放大器实际上只需要一个即可。

板子焊好后是烦人的绕线圈环节。因为很难买到非常合适的线圈，所以只好自己用漆包线绕。一般来说，使用的电压越低，相应的铜丝应该越粗。我使用的是20V的直流电源，对应的漆包线是直径0.27mm的康铜丝。绕的匝数到一定数量之后，再多绕

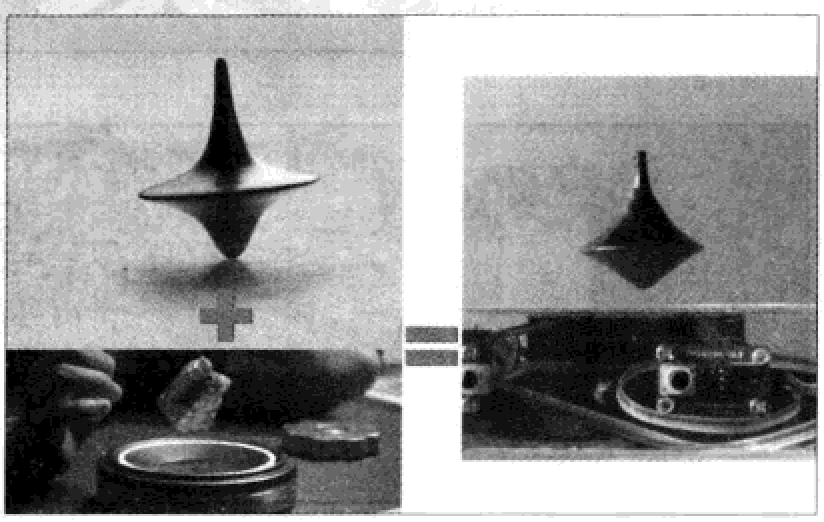


图1 来源于“盗梦空间”和“阿凡达”的盗梦陀螺

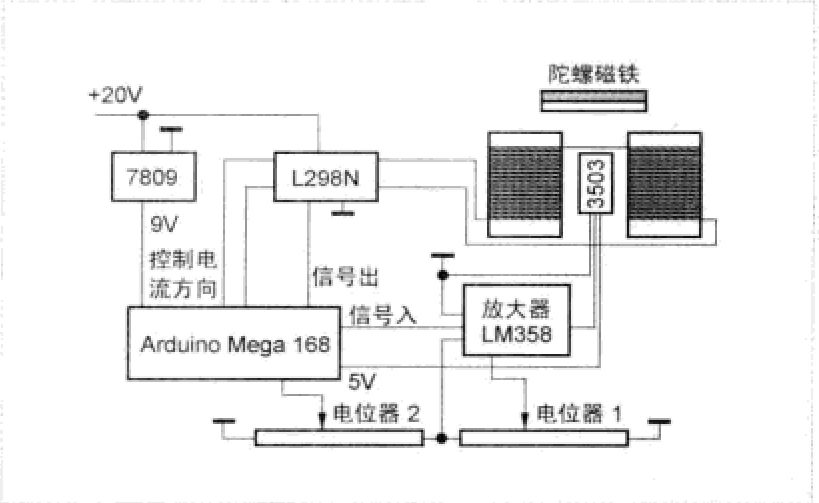
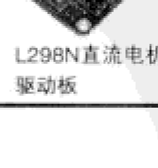


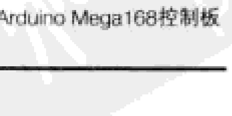
图2 磁悬浮电路原理示意图

附表

圆环形黑磁铁（底座） 145 mm × 80 mm × 20 mm 1个
钕铁硼强磁（陀螺） 圆片D15 mm × 4mm、圆片D30 mm × 2mm、圆环D31.7 mm × 19.1 mm × 3.2mm 各1个
线性霍尔传感器UGN3503 2个
数字放大器LM358N 1个
三端稳压器LM7809 1个
电阻100kΩ、2kΩ 若干
多圈电位器10kΩ 2个
旋转电位器10kΩ 2个
漆包线铜丝D0.27mm × 500g



L298N直流电机驱动板



Arduino Mega168控制板

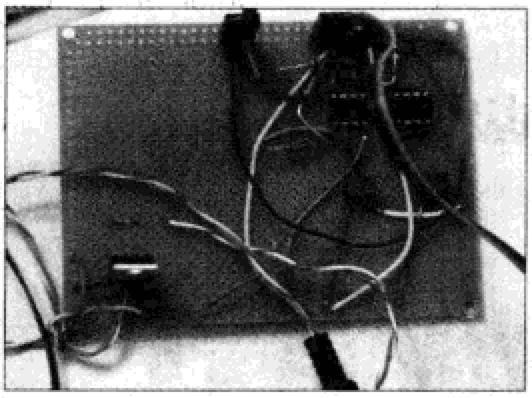


图3 参考原理图焊的板子

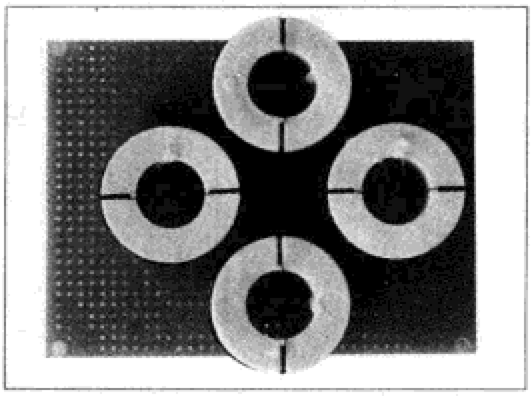


图4 两组线圈的安装

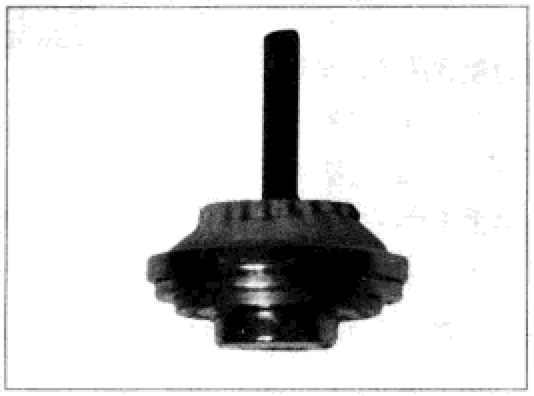


图6 陀螺的原型

线圈并不会增大线圈的磁力，但是可以更省电。这是因为匝数多的时候，线圈电阻会相应增大，电流减小，最终使总体磁场强度变化不大。

我的经验是在D32×D15×H18的线圈骨架上，绕大约800匝，制成线圈。每个线圈的电阻大约是40Ω。相同的线圈需要4个，相对的两个线圈，需要把同极的一端连在一起。这样能保证当一组线圈两端加上电压时，一个线圈对陀螺产生拉力，另一个则产生吸力，从而达到控制陀螺位置的目的。

安装线圈时，让它们离得稍远一点，这样控制起来更平稳（阿基米德的杠杆原理）。当然也不能远得离谱，中心距离等于陀螺直径是一个比较好的选择。

下面我们要考虑一下如何安装那两个3503霍尔传感器。首先，为了更灵敏地测量陀螺位置，需要让它们离陀螺尽可能地近。其次，需要避免线圈磁场变化对传感器的影响，所以要尽可能地安装在线圈的对称轴上。所以在图4中，两个霍尔传感器互相垂直地安装在4个线圈的中心位置。细心的读者看到图4可能会乐了，明明两个传感器都没有完全在中心嘛！没错，因为中心点只有一个，两个传感器最终都会稍微偏离中心点。其实这个偏移是没关系的，因为我们还有高度上的对称。也就是说，传感器的安装高度，一定要尽量让它在线圈高度的中心。通过这样的安装方式，无论线圈中通过多大的电流，产生的磁力线都是平行于传感器表面的，不会产生波动。

电路剩下的部分不需要焊接了，只需要将Arduino控制板以及L298N驱动板通过插针连接即可。Arduino Mega一共有4种IO接口：模拟输入、输出和数字输入、输出。其中模拟输入标记为“ANALOG IN”，可以测量0～5V的电压，对应在代码中的读数范围是0～1023。

模拟输出实际上输出的是一串方波，通过高低电压的占空比来产生“平均电压”。在板上对应的标记是PWM，输出电压同样是0～5V，但是请注意，设置的数值范围却是0～255。

对于“盗梦陀螺”这个小制作，传感器和电位器的读数要用模拟输入，而线圈电流的控制也要用模拟输出。强烈建议把接线的编号集中写在程序的最前面，这样可以一目了然地看出是怎么接的线。

L298N直接连接了20V的电源，通过板内取电的方式提供5V电压给电路使用。板上包含了对称的两组电流驱动电路，我们可以用数字输出I1和I2控制线圈的电压方向，用模拟输出EA控制电压的大小，另一组的输出类似。

友情提醒一下，Arduino的地线，L298N的地线，还有焊接电路的地线，一定要都连在一起。

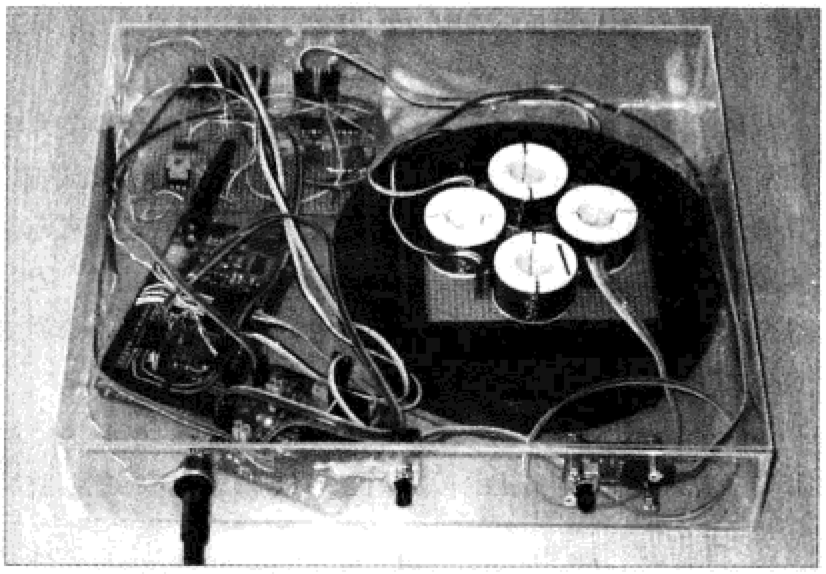


图5 电路安装图

图7 石膏初步造型

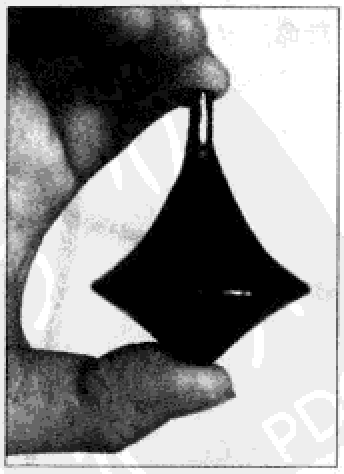


图8 制作完成的陀螺效果图

到这里，我们的电路部分就完成了，用热胶把它们固定在有机玻璃盒子里（见图5），正好把两个调节位置的电位器安装在面板上，看上去还蛮酷的吧！

至于陀螺，其实没啥“技术含量”。它是由一组钕铁硼强磁组成，把它组装成下重上轻的锥形结构，这样有利于陀螺的稳定，如图6所示。

接下来用石膏给陀螺造型，这个创意源于我年轻时的骨折经验。石膏在将干未干的时候，很容易造型，而一旦变硬之后又很结实。最重要的是，石膏是完全无毒的，咱们平时吃的某些品种的豆腐就含有这种物质。图7所示是陀螺刚涂上石膏时的狼狈场景（友情提示：洗手会有点麻烦，最好戴个一次性手套）。然后是用小刀削成型、砂纸打磨、指甲油上色等工序，在这里就不多说了，最终的效果图如图8所示。

【程序】

```
int myLog[3500];
boolean debug = false;
int tick2 = 0;
void loop()
{
  tick++;
  if(tick==Max)
  {
    Serial.print(.....);
  }
else
  {
    myLog[tick]=****;
  }
}
```

到此为止，我们已经完成了硬件的制作，接下来还需要为电路写入程序，给冷冰冰的电路注入智能。我使用了最基础的PID算法。PID是比例（P）、积分（I）和微分（D）的缩写，它是应用最为广泛的一种自动控制器。具体原理我就不多介绍了，因为这个电路中，陀螺的平衡位置是不动的，所以可以忽略积分项。用公式来描述就是：$f(x) = Kp \times x + Kd \times v$

其中，x表示陀螺的位置坐标，假设中心点坐标为0。实际上我们没法测量到一个真正的长度单位，只是假设传感器的读数对应了陀螺的位置。

*Kp*是一个需要尝试的参数，表示陀螺偏移了x以后，需要多大的力把它推回去。很明显，这个值必须足够大，才能完成它的使命。但是*Kp*太大又会造成陀螺剧烈振荡。

*v*表示陀螺在这个位置时的速度，这个可以通过$(x2-x1)/t$来计算，也就是采样周期内x坐标的微分值，这也是PID中D的含义来源。

*Kd*是另外一个需要尝试的参数，因为陀螺具有一定速度时，线圈需要进行额外的处理来抵消它的动能。

最终算出的$f(x)$就是需要给陀螺施加的电磁力，对这个程序而言，最终返回的是0～255的PWM电压值，用来控制L298N的电流大小。

我的程序中，实验出的参数值是*Kp*=22，*Kd*=0.55。这两个值对你也许没有什么参考意义，因为它受磁铁大小、线圈匝数、各部件间距离等数据影响，在不同人的设计里可能会差别很大。

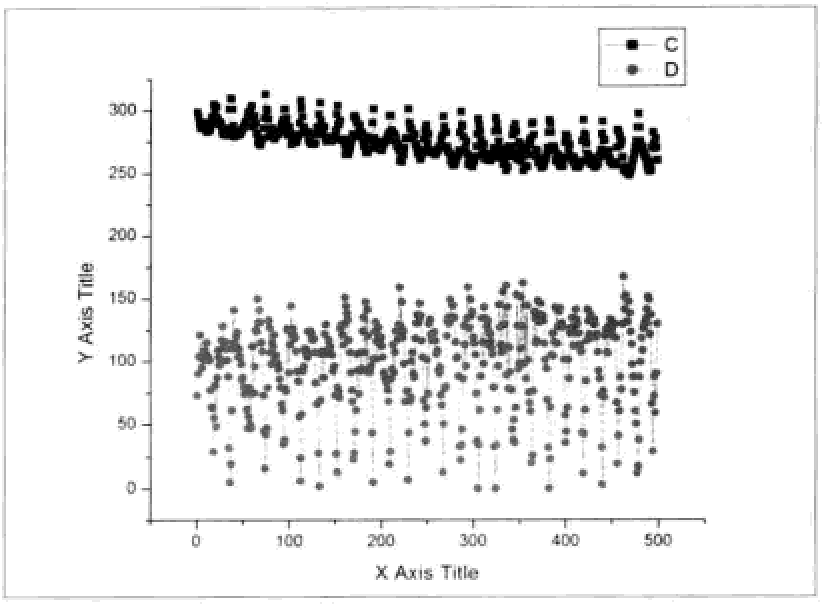


图9 用Origin工具分析Arduino的数据记录

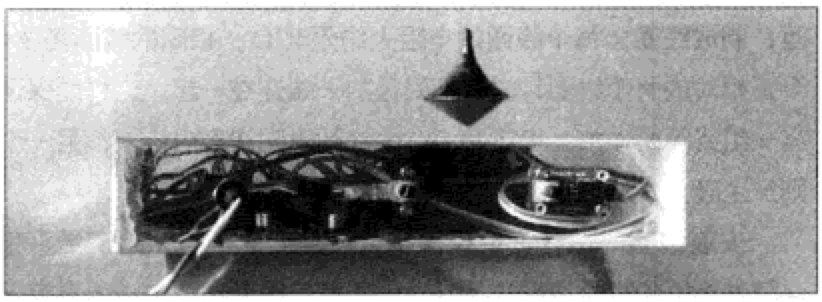


图10 最终的效果图

调试这两个参数对我来说是非常头痛的事情。原以为*Kp*值应该在1附近，每次增加0.1，可是试到崩溃也没有成功。后来想到利用Arduino的串口通信功能，把一段时间内的传感器读数和位置计算结果都记录下来，统一发到电脑上分析。

有了数据就方便多了，打印个图形出来，稍微算一下就可以知道这两个参数的大致范围了，见图9。

需要注意的是，Arduino 默认的 PWM 频率是 50Hz，也就是说，采样率小于 20ms 时无法精确控制输出电压。这对于一个控制平衡的电路来说，反应实在是太迟钝了。幸好 Arduino 的开发环境中提供了修改默认频率的方式，修改后 PWM 的频率可以提高到 16kHz 或 32kHz，平衡 1 个陀螺完全没有问题。这几行程序会有个小小的副作用，原来 delay(1000) 是 1 秒钟，现在需要 delay(64000) 才是 1 秒。

好了，该处理的问题都处理好了，盗梦陀螺终于如愿以偿地悬浮起来了。稍微给它加一点旋转的力，它就能不停地旋转起来，而且非常稳定。看看图10所示的效果图吧！

如果您希望了解更详细的内容，可以去动力老男孩的博客（www.diy-robots.com）上查看攻略和源代码，也可以到《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上下载源代码。

玩转Arduino

◎刘英杰

走进机器人的器官世界（1）

人类可以利用自身的器官去感知外界事物的变化，可以用眼睛观察，可以用耳朵倾听等。作为模拟人类的机器人可以吗？是的，机器人也可以感知外界事物的变化。那么机器人又是通过什么来感知事物的呢？这就是伟大的传感器。传感器就相当于机器人的器官，不同种类的传感器可以让机器人具有不同的功能。下面就让笔者为大家推荐几款传感器模块，它们在Arduino的控制下可以成为机器人小车、机械臂的“器官”，让他们看得见、听得到、闻得出。

红外接近开关

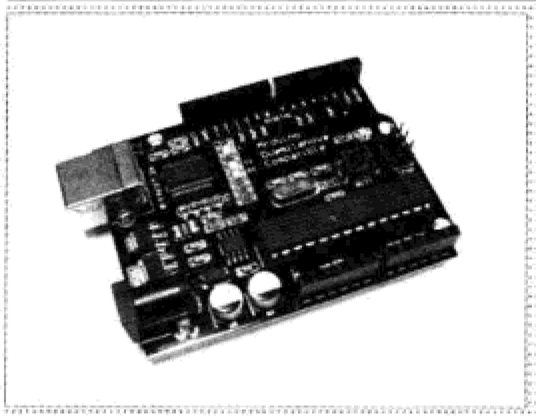
它可以让机器人检测到前方是否有障碍物，是一种集发射与接收于一体的光电开关传感器。检测距离可以根据要求进行调节。该传感器具有探测距离远、受可见光干扰小、价格便宜、易于装配、使用方便等特点，可以广泛应用于机器人避障、互动媒体、工业流水线等众多场合。开关信号输出，无障碍物时输出高电平，有障碍物时输出低电平，并且探头后面指示灯亮，探测范围3~80cm。

使用方法：

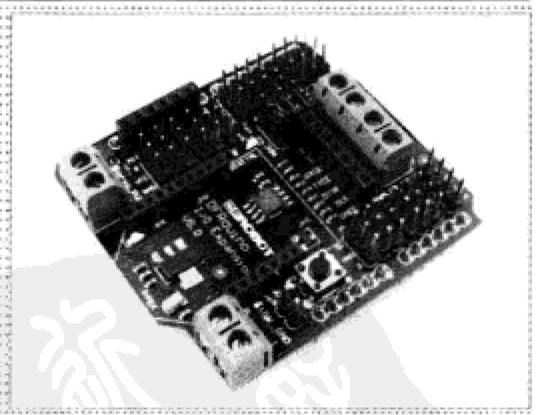
将红外接近开关连接到主控制板上，给控制板下载相应的程序，为整个电路供电，红外开关就可以工作啦。

控制部分笔者选择的是Arduino328控制板。在以前的“玩转Arduino”系列文章中，我提到过，Arduino328控制板是一块采用AVR单片机的基于开放原始代码的Simple I/O平台，使用类似Java、C语言的开发环境，可以快速使用Arduino语言与Flash或Processing等软件结合，实现互动作品。Arduino可以与其他已开发完成的电子元件配合使用，例如开关、传感器或其他控制模块，以及LED、步进电机等其他输出装置，也可以独立运行成为一个可以与软件沟通的平台，例如flash、processing、Max/MSP、VVVV等。网上有很多可以让我们免费下载使用的Arduino应用程序，可以帮助我们开发出很多令人惊奇的互动作品。后面要介绍的传感器应用的控制部分我也选择的是Arduino328控制板。

另外，我选择了xbee传感器扩展板来实现控制板和传感器的连接。将扩展板插在Arduino328控制板上，传感器就可以直接插在扩展板上。xbee传感器扩展板能使大部分传感器轻松地和Arduino控制板连接，还具有xbee/Bluetooh Bee蓝牙无线数

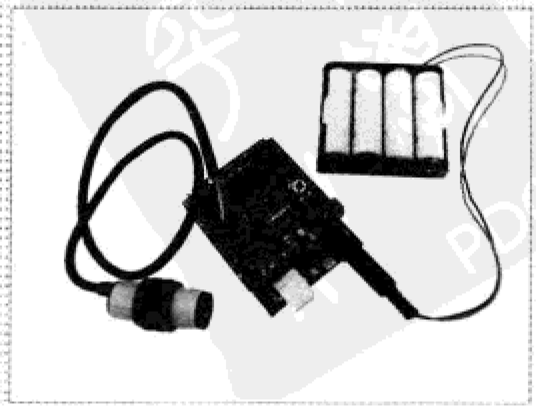


Arduino328控制板

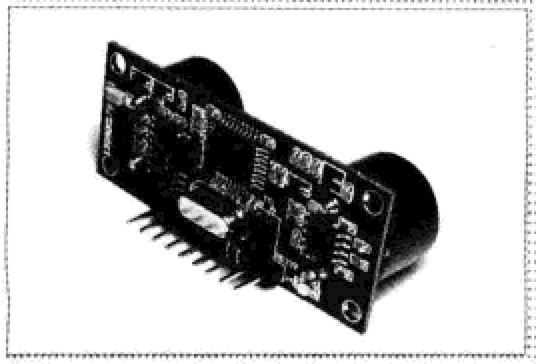


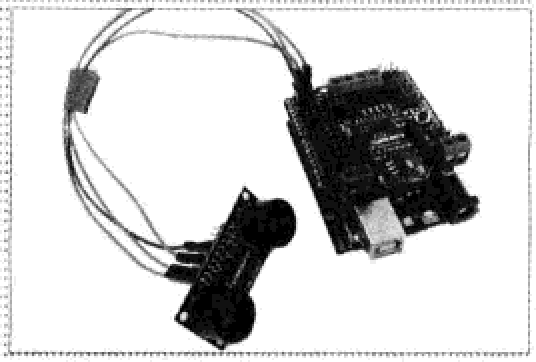
Xbee传感器扩展板

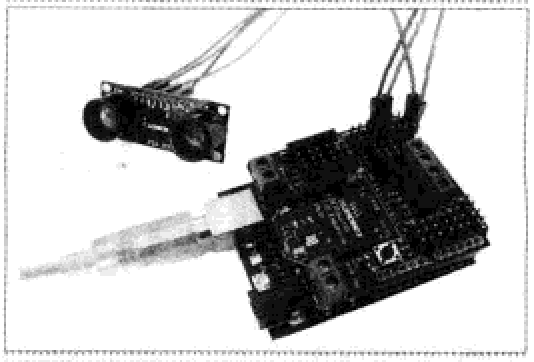
红外接近开关

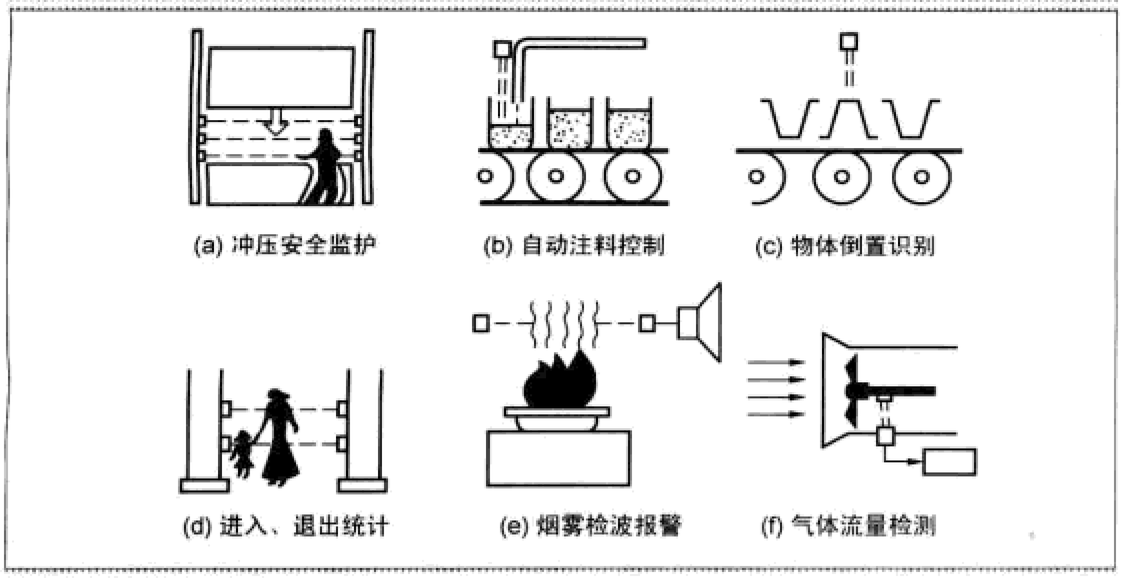


连接方法


URM37 V3.2超声波测距模块


连接方法


下载程序



红外开关的其他使用场合

传接口、APC220/Bluetooh V3蓝牙无线数传接口、I²C/I²C/TWI接口、SD卡模块接口等。电源部分选择4节5号电池即可。

具体接线方法是

1. 将xbee传感器插在Arduino328控制板上。

2. 将红外接近开关插在扩展板上的数字接口。红色为电源，绿色为地，黄色为信号输出。

3. 接上电源部分。

这样电路部分就接好了。将这个红外接近开关应用在小车上，就可以进行避障的实验了。控制板的程序根据从红外开关读取的电平判断前方是否有障碍物，如果有障碍物，就让小车执行相应的躲避动作。

超声波测距模块URM37 V3.2

这个模块不仅可以让机器人检测到是否有障碍物，并且可以精确地检测出机器人与障碍物之间的距离。如果说红外开关类似人的眼睛，那么，超声波测距模块就是火眼金睛。它采用工业级高性能AVR单片机作处理器，具有温度校正和软件补偿功能，其RS232接口可直接与PC串口相连，而且自带一路舵机控制端，适用相应的专用软件还能让其控制更得心应手，URM37 V3.2模块有RS232/TTL串口、PWM及开关量输出。最大测量距离500cm，最小测量距离为4cm，分辨率为1cm，误差在1%左右。

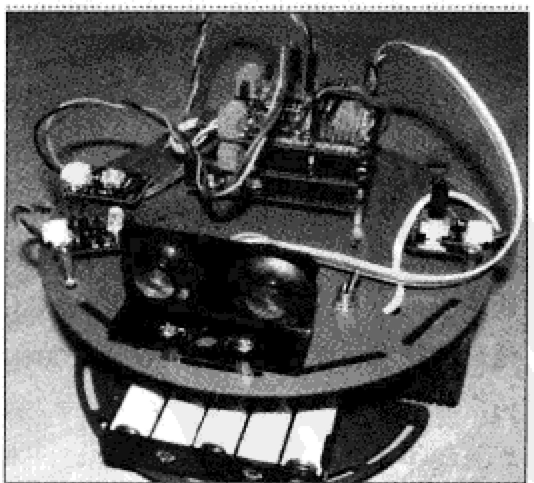
使用方法：

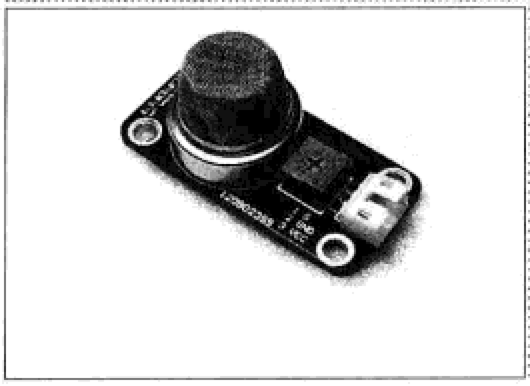
1. 将xbee传感器插在Arduino328控制板上

2. 利用杜邦线将超声波模块上的第1引脚和扩展板上标有VCC的引脚相连，模块的第2引脚和扩展上标有GND的引脚相

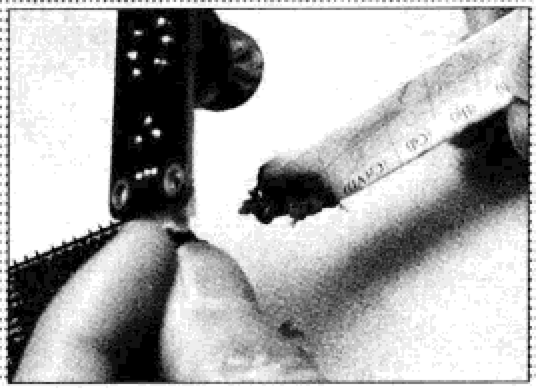
串口调试助手软件SSCOM

国外玩家使用URM V3.2和Arduino制作的机器小车，见letsmakerobots.com/node/5629

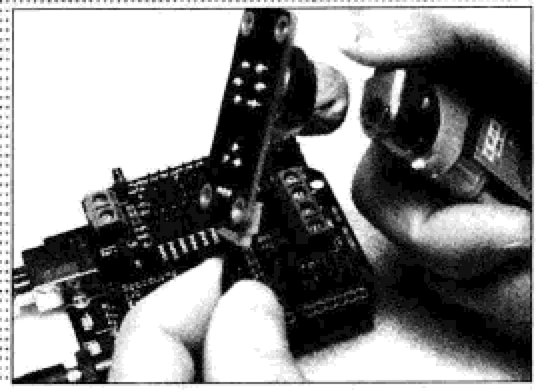

基于Arduino和URM37V3.2超声波测距模块的魔手控制小车教程视频，见blog.ednchina.com/zhang0309/1828644/message.aspx。



模拟气体传感器模块



烟雾检测



丁烷检测

连，模块的第4引脚连接到扩展板上的数字2口，模块的第6引脚和扩展板上的数字3口相连。

3. 连接数据线（数据线一端插到电脑的USB口，另一端插到板子上），给控制板下载程序，笔者通常使用一个串口调试助手软件SSCOM，可以在网站上免费下载。

4. 程序下载完毕后，打开串口调试助手软件，选择对应的波特率。这时在串口调试助手软件中会不断有数据返回，这个数据就是超声波模块距离与它前方障碍物的距离。

模拟气体传感器

这是个基于气敏元件的气体传感器，可以很灵敏地检测到空气中的烟雾以及甲烷气体。与 Arduino 专用传感器扩展板结合使用，可以制作火灾烟雾报警、甲烷泄露报警等相关的作品。该模块具有输出调节电位器：顺时针调节大，逆时针调节小。

使用方法：

将配套的线一端插在传感器上，另一端插在扩展板的模拟0口。蓝色线为输出，红色线为电源，黑色线为地。将数据线一端插在控制板上，另一端插在电脑的USB接口上。

将程序下载到控制板，打开串口调试助手软件。可以从软件窗口中看到探头暴露在空气中的数据。当探头预热完成后，数据将在120左右。

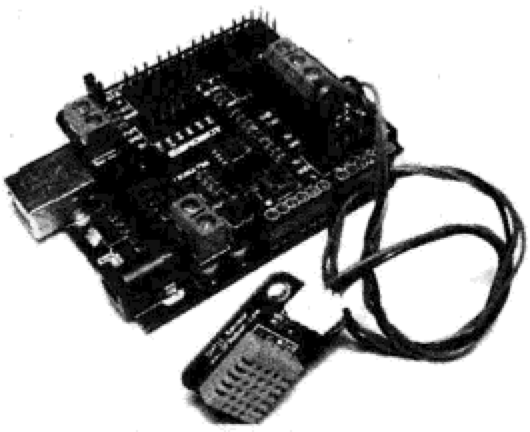
接下来，我们检测几种气体试试。第一种是口气检测，对着探头吹气，我们可以通过串口助手观察到数据（260~300）。

第二种是烟雾检测，将点燃的纸熄灭，放到探头下方，产生的烟雾会被探头检测到，我们可以通过串口助手观察到数据（410~570）。

第三种是丁烷检测，我们常用的气体打火机就是使用的丁烷，把打火机放到探头下方，放出丁烷气体，探头就会检测到，串口助手观察到的数据为920~1020。

DHT11温湿度传感器

DHT11温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器。它应用了专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，以确保产品具有极高的可靠性与长期稳定性。传感器包括一个电阻式感湿元件和一个NTC测温元件，并与一个高性能8位单片机相连接。该模块具有品质良好、响应超快、抗干扰能力强、性价比极高等优点。每个DHT11传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式储存在OTP内存中，传感器内部在检测信号的处理过程中要调用这些校准系数。模块采用单线制串行接口，使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗，信号传输距离可达20m以上，这些优点使其成为各类应用场合的极佳选择。笔者推荐的这款模块为3脚PH2.0封装，连接方便。温度测量范围为0~50℃ 误差为±2℃，湿度测量范围为20%~90%RH（Relative Humidity，相对湿度），误差为±5%RH。



DHT11温湿度传感器的连接

使用方法：将配套的线一端插在传感器上，另一端插在扩展板的模拟0口。控制板程序读取模拟口的数据就可以了。

传感器可以让机器人感知到外界事物的变化，它让机器人在一些方面有着类似于人类的能力，甚至超出人类的能力。以后，我还会为大家继续介绍可以应用在机器人上的各类有趣而实用的传感器，让我们的机器人越来越智能。

套件销售

本文介绍的几种传感器可联系我刊邮购部购买，具体价格可到我刊网站 www.radio.com.cn 上查询，购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

一起来玩车型机器人！

入门 太阳能滑行机器人

进阶 基于模拟计算机的循线小车

编程 MiniQ 2WD二轮驱动机器车

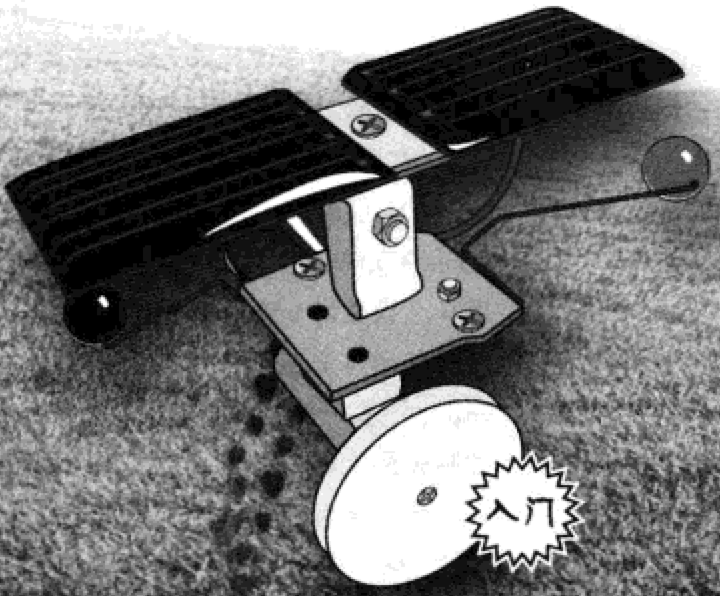
机器人，乍一听上去似乎是科幻电影中才会出现的高科技产物，事实上并非如此。非人型机器人早就悄悄走进了你我的日常生活，就算是仿人型机器人，也开始应用到医学、航天、科研等高端领域了，不信请看本期《机器人总动员》栏目中为你收集的信息。如今，自己动手DIY一个机器人也不再是梦想。本期我们就为大家带来了制作难度不同、侧重点不同的3款车型机器人。

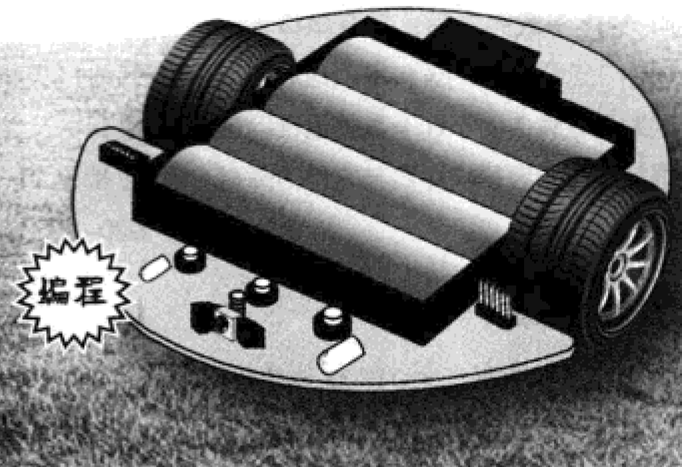
第一款太阳能滑行机器人是不使用微处理器、只使用简单的电子电路进行行为控制的Beam Robot，用身边的废旧材料就可以制造，非常适合初学者尝试。

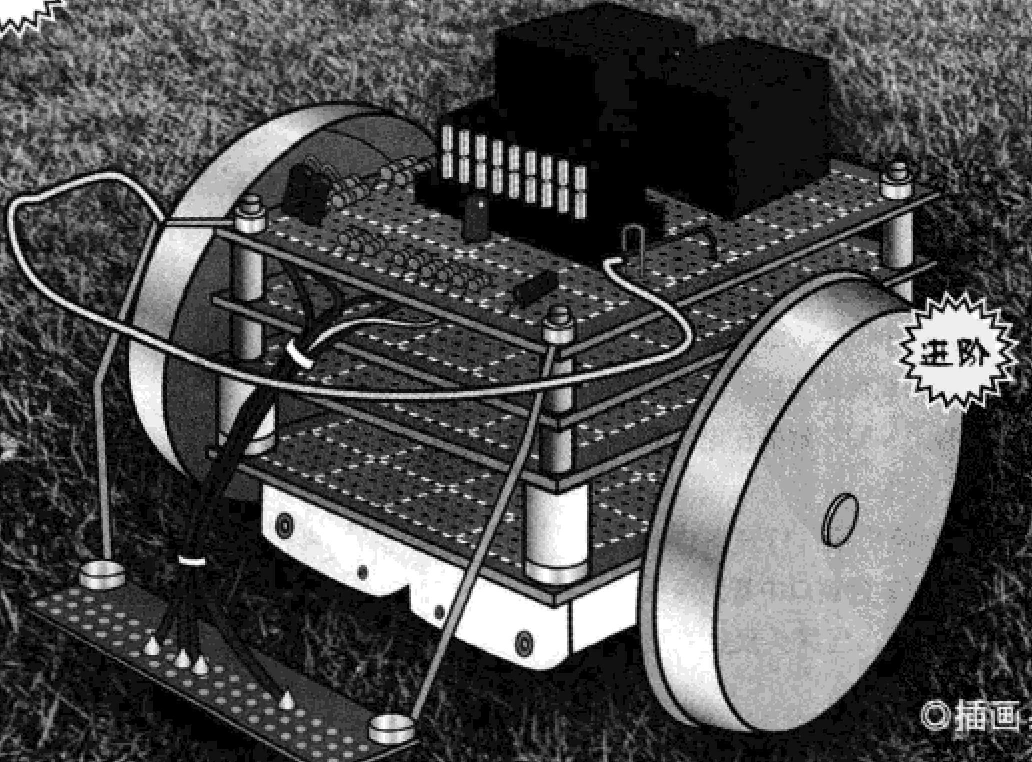
第二款循线小车则是为有一定基础的进阶玩家准备的。作为机器人爱好者必修课的循线小车通常采用单片机控制，而本期介绍的这款循线小车则由传感器和线性比例器构成，以模拟计算机控制，提供了不同思路。

第三款MiniQ 2WD二轮驱动机器车是为编程爱好者准备的成品套件，兼容Arduino、AVR开发环境，可实现避障、循线、寻光、遥控、唱歌等功能，你甚至可以让多台小车分别模拟袭击者和小鸡模式，让它们自己来玩老鹰捉小鸡的游戏。

如果感兴趣的话，你不妨也来制造一台属于自己的车型机器人，并运用你的智慧为它赋予更多好玩的功能。







◎插画：刘少冉

本文要点

加深对脉动充放电控制电路在太阳能驱动应用方面的理解。

了解摩擦对于轮式驱动的影响。

了解多自由度凹凸关节件结构的应用。

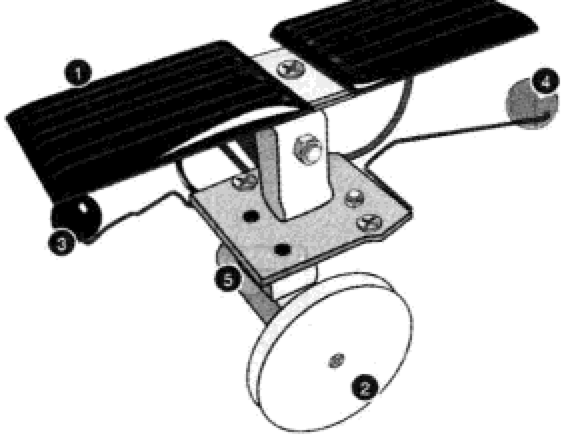
◎Plenilune

PVC-Robot 3号：光能小车

太阳能滑行机器人

2011年本刊第2期介绍了用PVC材料制造、贯彻“低成本、易制造”理念的PVC-Robot系列的1号机——避障机器人，本期我们来介绍该系列的3号机——太阳能滑行机器人。

在 PVC-Robot 系列中，不少机器人是采用同样的电子电路进行行为控制的（即内在是一样的），但是外形和移动的方式却有较大不同。通过它们，我们可以了解更多 DIY 机器人的驱动方式，学习关于机械以及运动相关的知识。



机器人的结构

1. 太阳能电池板
2. 主动轮
3. 从动轮
4. 从动轮
5. 电机

PVC-Robot 3号——太阳能滑行机器人，其实是一辆依靠太阳能驱动的轮式小车，电子电路类似上期杂志介绍的太阳能陀螺机器人，但是机械结构和驱动模式完全不同。此外PVC-Robot系列还有晒太阳的蚊子、光能风车、光能比目鱼等几款基于同样电路，但有着不同运动方式的机器人，通过认识它们，你可以扩展思路，制作出千变万化的机器人来。

本项目之所以被称为滑行机器人，是因为它虽然和其他小车一样是用轮子驱动的，但是因为电源是太阳能电池，而且是采用脉动充放电控制电路，所以实际行动起来不像一般的小车那样是连续行进的，而是停一阵、滑动一阵。这款机器人在结构上还有一个特点，就是太阳能电池板设计成可以任意转动、可以指向任何方向的样式。

■ 效果视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjQzODI2OTQ0.html

基本原理

1. 驱动原理

太阳能滑行机器人采用特殊的单电机三轮驱动结构，原理如图1所示。前面左边的轮子是主动轮，由一个电机直接驱动，前面右边的是从动轮，起到平衡作用；后面一个轮子也是从动轮，也起到平衡的作用。

这个结构有别于 PVC-Robot 1 号避障机器人的双电机三轮驱动结构——双电机驱动结构的两个前轮都是主动轮，可以通过改变两个前轮电机的转、停来控制机器人的行动方向（即实现转向），相对的，单电机驱动结构的两个前轮中只有一个是主动轮，只能控制机器人单向前进，而且如果要保持直线行走，还必须仔细调试好各个轮子的安装位置和角度，确保所有轮子的轴方向都垂直于前进方向。尤其是前面右边的从动轮，如果安装得稍微有点偏差，前进的过程中就无法保持直线。

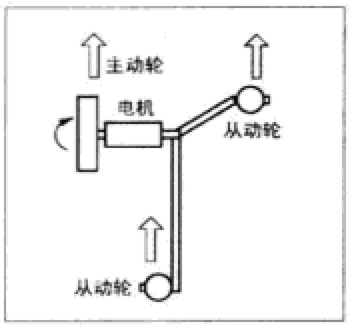


图1 单电机三轮驱动结构原理图

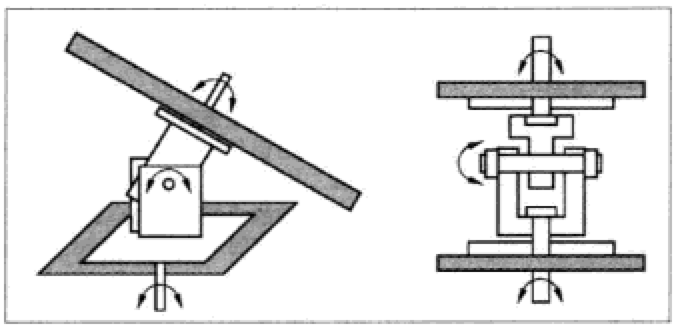


图2 多自由度凹凸关节件结构图

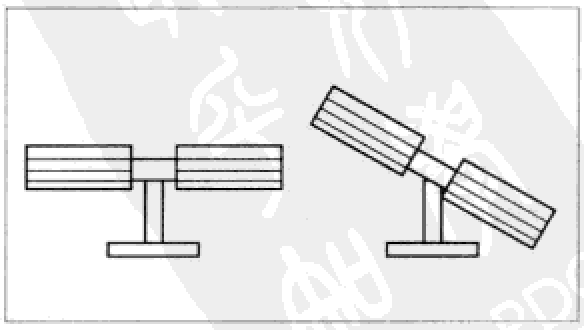


图3 太阳能电池板正面水平角度调整

2. 驱动部分的制作要点

以下3点是在制作本项目的机械结构时要特别注意的，作者制作的早期版本就因为没有考虑到这些问题而被淘汰。

（1）主动轮与地面的摩擦要尽可能大一点，这样轮子“抓地”才稳，运动起来就不会打滑——这也是为什么车子的轮子外面包有轮胎的原因。

（2）从动轮与轴承之间的摩擦要尽可能小，才能保证从动轮的转动不会产生过多的摩擦力，不会消耗过多的动力，每次才可以滑行得更远一些。

（3）轮子要尽可能与前进的方向平行，才能保证直线运动。

3. 太阳能电池板支架的机械结构

太阳能滑行机器人在太阳能电池板的支架处采用了两组活动的支撑关节（凹凸件），以确保太阳能电池板可以任意调整角度，保障提供相对稳定的电能。

图2为多自由度凹凸关节件的结构图。所谓一个自由度可以理解为一个可活动的关节，下图中我们可以看到共有3组可以活动的关节，所以称为3自由度，但是实际上最上面和最下面的两个关节都只能水平旋转，在通常情况下效果都是一样的，实际上应该称为2自由度，即水平面旋转自由度加垂直面旋转自由度。

不过，在本项目中，最上面的一个水平关节是用来连接太阳能电池板的，实际上可以调整太阳能电池板正面的水平角度，与底座的水平关节的效果还是不同的，相当于下面两个关节是手臂的水平和垂直关节，而最上面这个关节是手腕的关节，所以还可以称为一个3自由度结构。

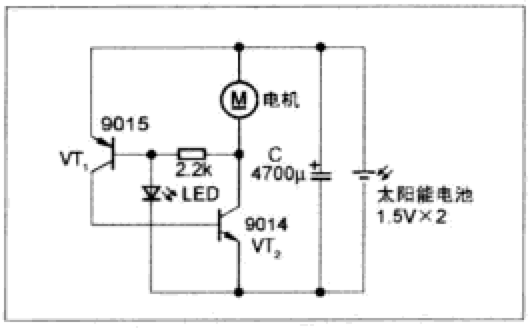


图4 太阳能滑行机器人电路图

4. 电路原理

太阳能滑行机器人的电路与上期介绍的太阳能陀螺的电路极为相似，如图4所示，它是典型的脉动充放电控制电路。

这是一个比较巧妙的电路，可以把太阳能产生的功率较低且有可能断断续续的电能收集起来集中存储，当存储的电能达到一定量的时候，通过瞬间短暂的放电

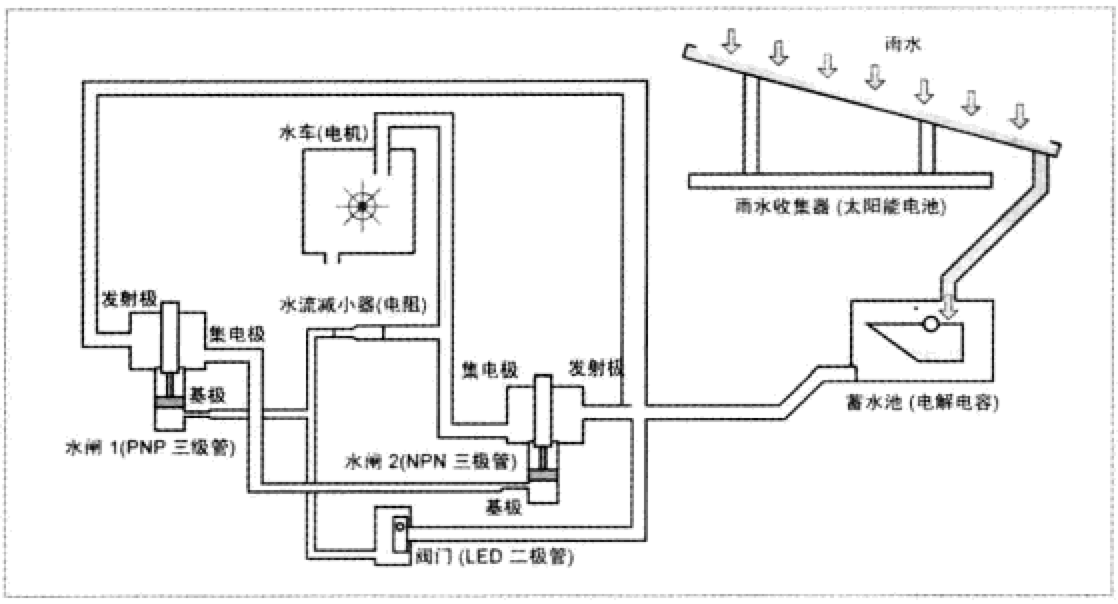


图5 用类比方式来理解电路图

表1

	各元件的工作过程	类比方式来理解
1	太阳能电池把太阳能转换为电能，并给电解电容 C 充电	下雨天，雨水收集器（太阳能电池）收集雨水
2	电解电容积蓄电能的过程中整体电路的电压逐步上升，当达到LED二极管的导通电压（2V）时，LED二极管导通	收集到的雨水注入蓄水池（电解电容），水满后会一次性倒出。水流顺着管道流向阀门（二极管）和水闸（三极管）。阀门和水闸关闭，水流无法继续向前流。随着水压升高，水流顶开阀门并通过阀门
3	LED二极管导通后，可以给PNP三极管VT_1的基极提供足够的电压，促使PNP三极管导通	水流到达闸门1（PNP三极管）的基极。随着水压升高，闸门1被顶开，水流从闸门1的发射极流向集电极
4	PNP三极管导通后，反过来又给NPN三极管VT_2的基极提供足够电压，促使NPN三极管导通	闸门1集电极流出的水流向闸门2（NPN三极管）的基极
5	NPN三极管导通，一方面通过电阻给PNP三极管基极保持足够的导通电压，另一方面驱动电机转动。其中用电阻可以降低电流，以保护LED二极管以及PNP三极管不容易烧坏，而且也降低LED二极管的功耗（毕竟这里LED二极管的主要作用不是用来发光的），让更多的电能都用在驱动电机上	水压升高，闸门2被顶开，水流从闸门2的发射极流向集电极。水流向水车（电机），并且通过水流减小器（电阻）流回水闸1的基极
6	电机启动后，会迅速消耗电解电容中存储的电能，整体电路的电压下降，直到无足够电压保持二极管的导通，则二极管截止	水车在水流的冲击下转动，并消耗水流，水流经过水流减小器流回水闸1的基极
7	由于NPN管导通后会通过电阻分一定的电流到PNP三极管的基极，使得即使二极管截止之后仍然有足够的电压在PNP三极管基极使其保持导通	水闸2集电极流出的水经过水流减小器回流到水闸1的基极，确保水闸1继续打开，循环之下，水闸2也能保持打开
8	电机转动，继续消耗电解电容中储存的电能，整体电路电压进一步下降，PNP三极管截止，同时NPN三极管也截止，电机停止转动	水车转动，消耗大多数水流，水闸1和水闸2无法维持打开状态，全都关闭了。水车失去水流驱动，停止了转动
9	接着，太阳能电池重新给电解电容充电，电路重新开始一次上面的各个步骤，循环往复	准备重新收集雨水，开始下一轮循环

图6 制作太阳能滑行机器人所需的材料

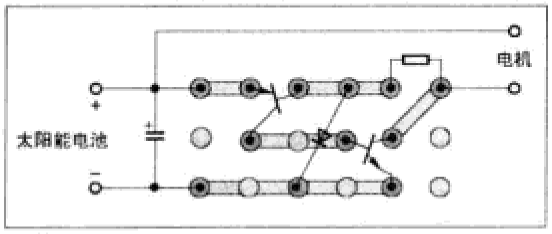


图7 电路板正面布局图（无焊点的一面，带黑点的圆圈为焊点，灰色带代表焊点相连）

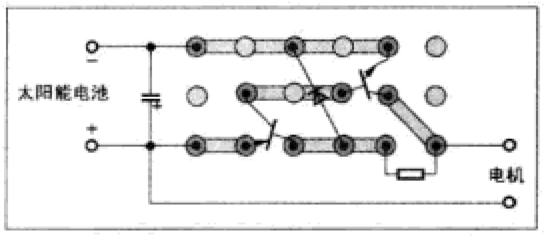


图8 电路板底面布局图（有焊点的一面，带黑点的圆圈为焊点，灰色带代表焊点相连）

表2 制作所需的材料

名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
PVC线槽	2.5cm宽度	1段	4元 / 0.5元	主要结构材料
小电机	微型电机，轴径1mm	1个	3元	动力
太阳能电池	1.5V	2片	2.2元	电源
电阻	2.2kΩ	1个	8元 / 0.03元	电子元件
电解电容	4700μF	1个	0.4元	电子元件
二极管	LED发光二极管（红/黄/绿）	1个	0.08元	电子元件
三极管	9014、9015各1个	2个	4.5元 / 0.15元	电子元件
电路板	电路板/实验板/万用板/洞洞板	1块	1.5元	
滑轮	皮带滑轮，直径24mm	1个	0.5元	主动轮
小齿轮	孔径0.95mm	1个	0.5元	主动轮卡箍
圆珠子	直径10mm	2个	0.3元	从动轮
曲别针	标准钢丝文具别针	2个	1元 / 0.02元	轮子支架
M2垫片	孔径2mm	1个	3元 / 0.03元	
M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	3颗	4元 / 0.12元	固定PVC材料
M2×6螺丝	直径2mm，长6mm	4颗	2元 / 0.08元	固定PVC材料
M2×10螺丝	直径2mm，长10mm，平头	1颗	2元 / 0.02元	固定PVC材料
M1.2螺母	孔径1.2mm	3个	15元 / 0.45元	固定PVC材料
M2螺母	孔径2mm	5颗	2元 / 0.1元	固定PVC材料
合计			53.98元 / 9.98元	

以获取足够的电流去驱动电机。虽然瞬间放电的电流足够大能够驱动电机，但是持续时间很短，在积蓄的电能耗尽后，电机将停止，电路重新开始收集电能，进入下一次循环。

如果是原来没有电子基础的朋友，可能对电路原理分析一头雾水，没有关系，我们还以通俗易懂的类比方式进行了一次分析，可以对照表1和图5来理解这一过程。

整个过程可以概括为：太阳能电池充电→积累电能→瞬间放电→驱动电机→耗尽电能→太阳能电池充电……可以看出，太阳能滑行机器人是间断性运动的，阳光亮度越大，运动间隔的时间就越短，相当于运动得更快。

制作机器人的准备工作

本项目所需的材料和采购成本见表2，大部分材料都可以从网上买到。由于有些器材采购时一般是批量的，而本项目实际用不了那么多（剩下的可以留在以后的其他项目上），所以另外加了一项成本折算。

电路焊接

电路焊接可以算是一项技术活，对于熟练的朋友来说是小菜一碟，这里我算是班门弄斧了，目的是给刚入门的朋友一点指引。

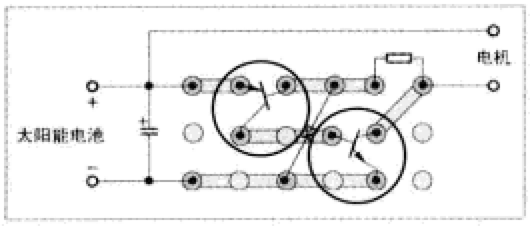
这里我们选用一块树脂实验板（也称万用板、洞洞板）作为焊接电路的载体。也许有人会说“那么简单的电路也要电路板”，确实，对于一些熟练的朋友来说，这样简单的电路还不如用电子元件的引脚直接搭起来焊接，这里之所以还选择用电路板，一是为以后焊接更复杂的电路打基础，二是不容易出错。

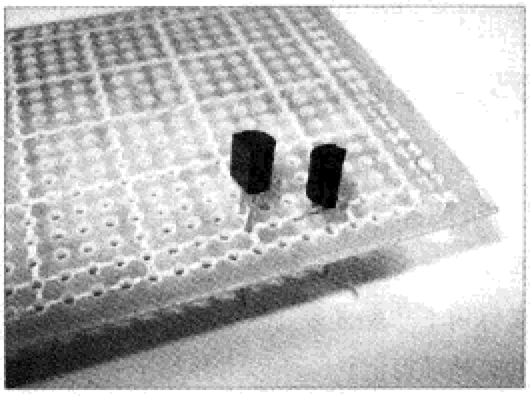
对于本项目，我们对应各元件在图上所在的位置进行实际电路板的布局（外接的电源、电机、电解电容除外，以方便焊接）。

小技巧
在实验板上如何排列元件？

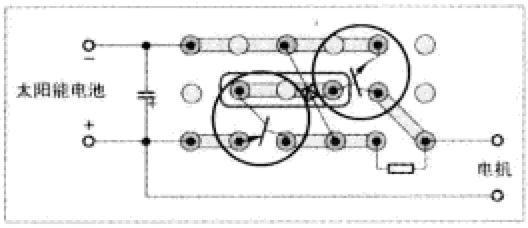
实验板上的孔全是一样的，该如何排列元件呢？这里有一个技巧。通常情况下，在电路板上排列元件，最好按照各元件在电路图中所在的位置对应到电路板上布局。比如元件A在电路图中位于最左边，则实际在电路板上也排在最左边；如果元件B在电路图中正好位于元件A的右边，则在电路板上也把元件B布局在元件A的右边。这样一来，容易对照电路图进行焊接，不容易出错；二来多数电路图正好符合其电流或者信号的流向，按照电路图的布局排列实际的元件不容易产生干扰或者（信号）异常。当然，这里所说的一般只是针对手工焊接的电路板，如果是设计印制电路板（PCB）来焊接电路，那会涉及到更多的内容，这里不展开讨论。

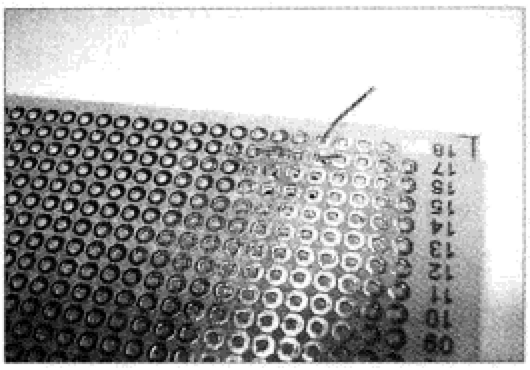
1 根据电路板正面布局图（图7）在电路板上插入两个三极管，注意引脚不要留得过短，不要让元件太过贴着电路板。



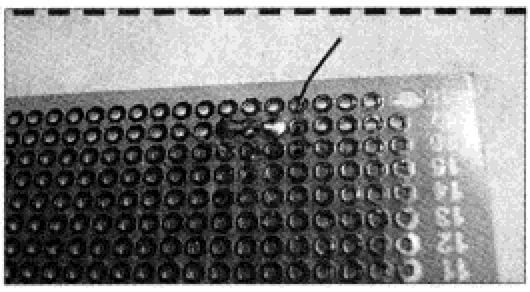


2 把三极管按照正确的引脚插好后，就按照电路板底面布局图（图8）焊接三极管，蓝色部分为连接线。焊点之间的连接线，一般可以直接用元件的引脚折起来再焊上。

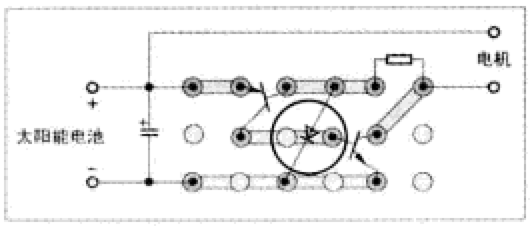


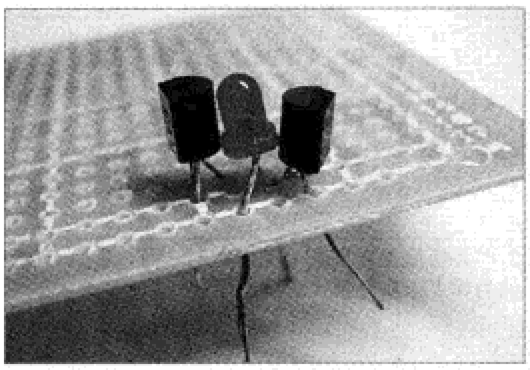


3 把元件的引脚按照要连接的位置折好，用剪刀剪掉多余的长度，然后涂上一点助焊剂(松香或焊锡膏),再用烙铁焊接。

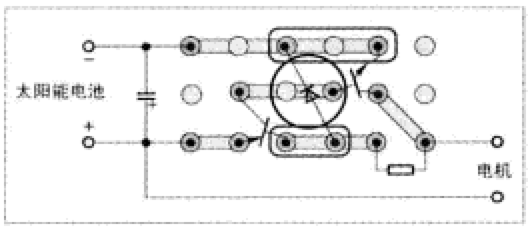


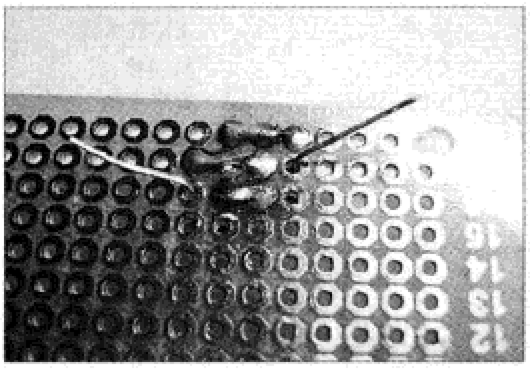
4 根据电路板正面布局图（图7）在电路板上插入LED二极管。



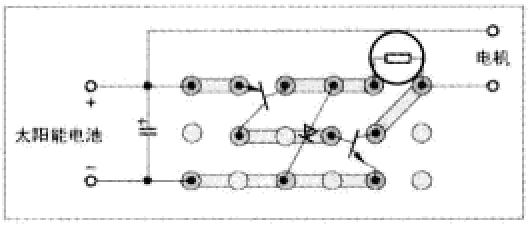


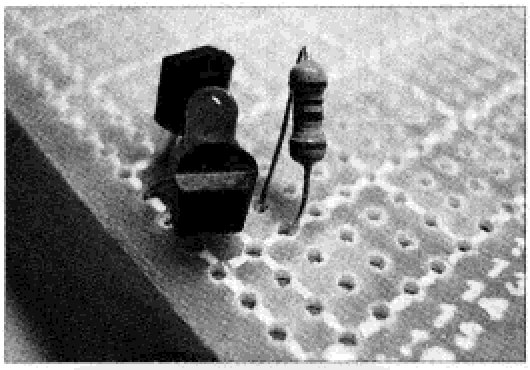
5 按照电路板底面布局图（图8）焊接二极管，蓝色部分为连接线。



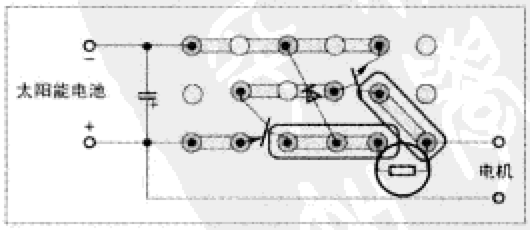


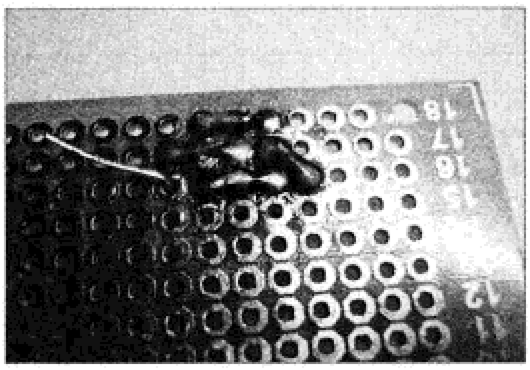
6 根据电路板正面布局图（图7）在电路板上插入电阻。如果看得懂电阻的色环所表示的含义，细心的朋友可能会发现，照片中的电阻是2.4kΩ的，这是因为我一时找不到2.2kΩ的电阻，就用2.4kΩ的来代替了。



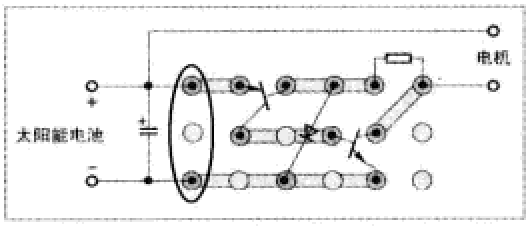


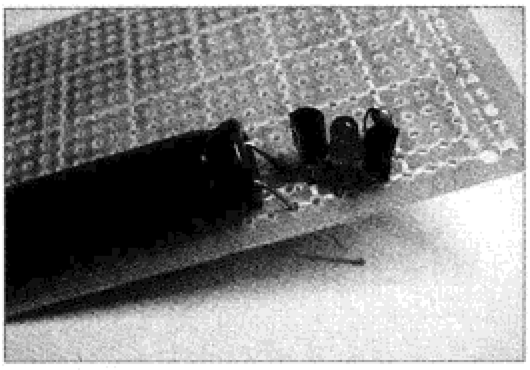
7 按照电路板底面布局图（图8）焊接电阻，蓝色部分为连接线。



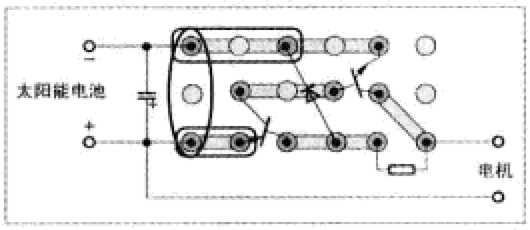


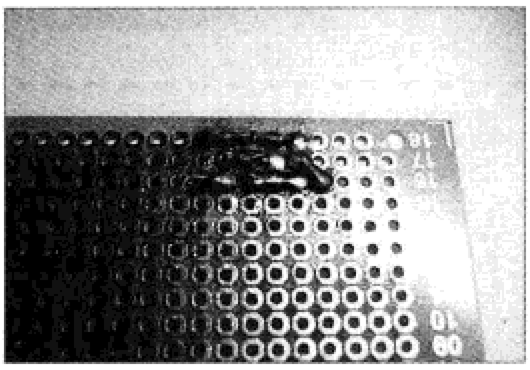
8 根据电路板正面布局图（图7）在电路板上插入电解电容。





9 按照电路板底面布局图（图9）焊接电解电容（蓝色部分为连接线）。

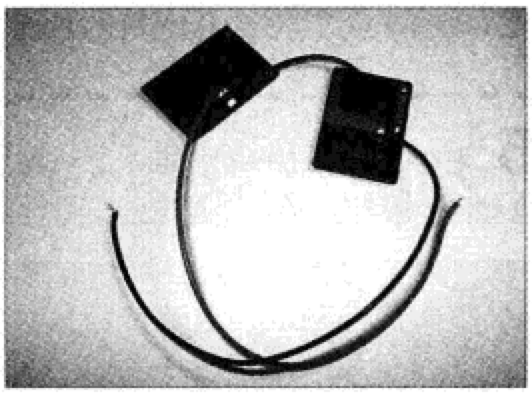




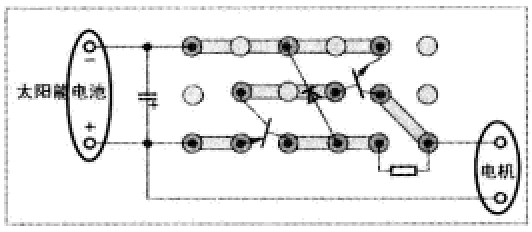
电路测试

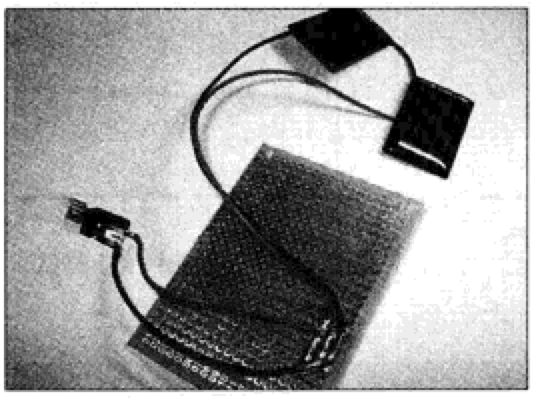
焊接好电路板之后，我们需要对电路进行测试，看看电路是否能够正常运行。

1 我们先把两片太阳能电池用电线串联起来，左边电池的负极接右边电池的正极（短黑线），则左边电池的正极就作为串联后的正极输出（长红线），右边电池的负极就作为串联后的负极输出（长黑线）。

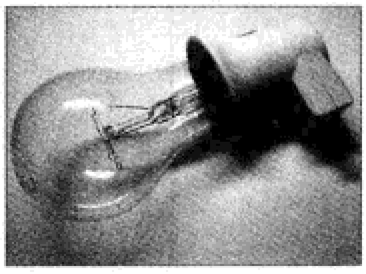


2 按照电路板底面布局图（图8）接好电机和太阳能电池。



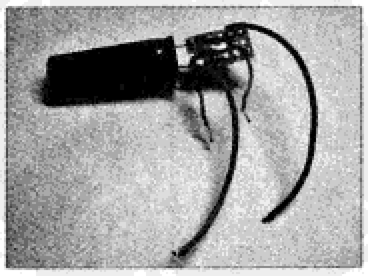


3 如果在室内测试太阳能机器人，可以选择100W的白炽灯代替阳光。注意不能用一般日光灯或是节能灯，因为它们的亮度无法让太阳能电池有足够的输出功率。



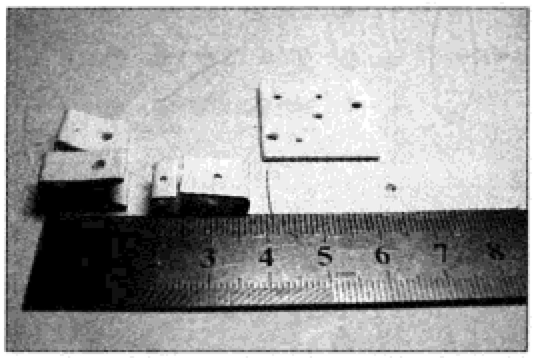
4 在白炽灯下，进行电路测试，正常效果为电机会每隔几秒钟转动几下。调整白炽灯与太阳能电池板的距离，查看电机在光线不同时的效果——光线越亮，电机每两次转动的时间间隔就会越短，如果灯泡贴着太阳能电池板，电机甚至会持续转动。确认电路调试好后，我们就可以把电路板按照实际用到的范围从整块电路板上进行裁切。如果是比较熟练的朋友，可以在焊接前就按照所需的尺寸先裁切好电路板。

5 以下是机器人电路板最终的样子。请注意电解电容不需要完全搭在板上，只是引脚部分连在电路板上，这样电解电容可以上下活动调整，因为在 PVC-Robot 的某些型号中，电解电容作为机器人腹部，有一端是贴住地面的。当然，本款机器人的电解电容要悬空，不能着地。

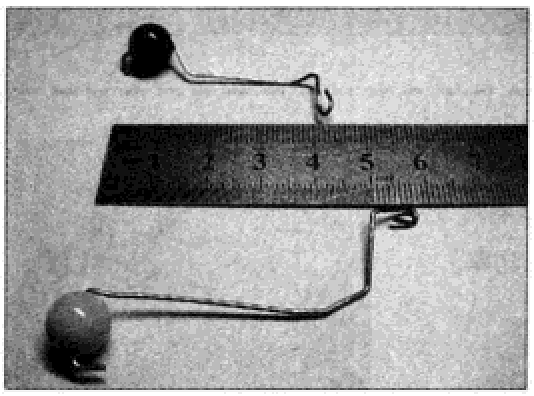


结构制作

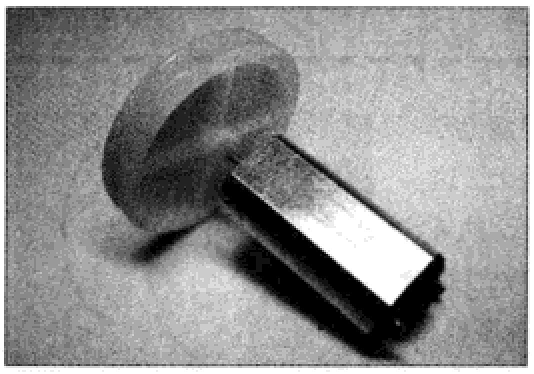
1 把PVC材料裁切成图中所示的形状和尺寸。从左到右分别为：关节凹凸件、电机底座、小车底盘／太阳能电池底板。



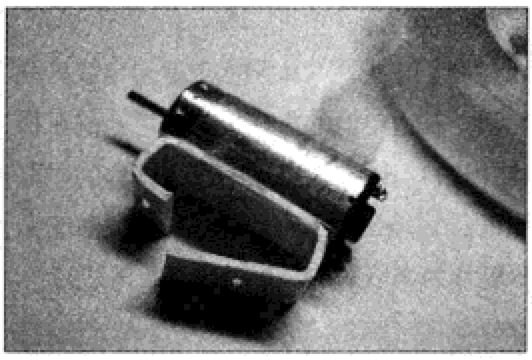
2 从动轮的支架，用曲别针弯成如图所示的形状。



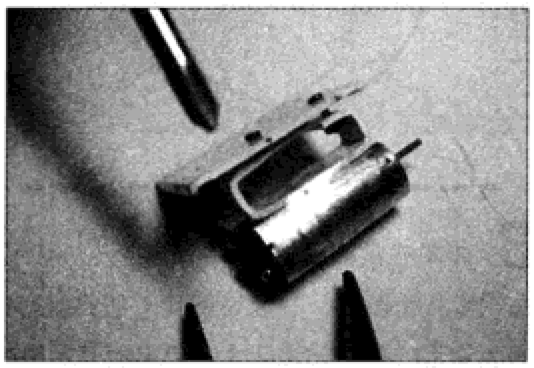
3 由于小电机的轴直径比较小（仅为1mm），而作为主动轮的滑轮轴孔比较大(2mm)，为了把滑轮安装到电机轴上，则需要借助一个轴直径和电机一样的（1mm）小齿轮——把滑轮的内径用锥子再扩大一点，把小齿轮插入滑轮的轴孔中。即电机轴连接小齿轮，小齿轮再连接滑轮。



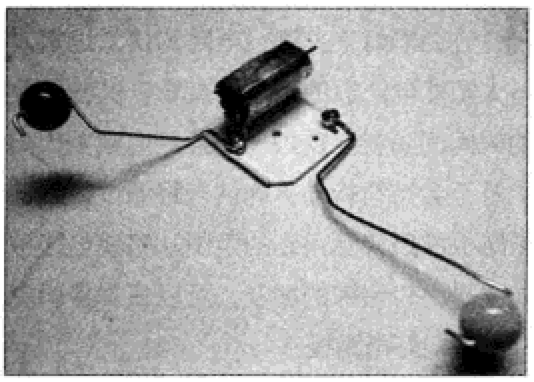
4 把电机用透明胶布固定在底座上。



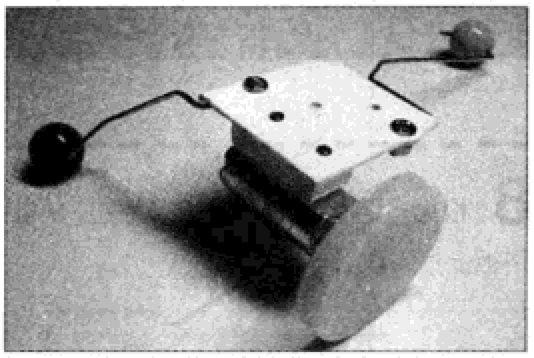
5 把电机连同底座一起，用M1.2×5螺丝和M1.2螺母固定在小车底盘上。



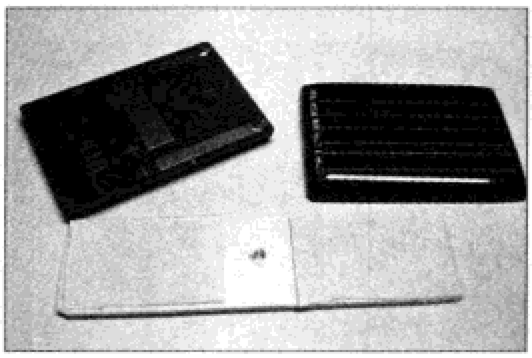
6 用M2×6螺丝把从动轮的支架固定在小车底盘上。



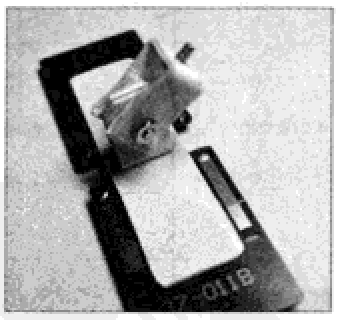
7 把主动轮（滑轮）也安装到电机轴上。调整从动轮的支架角度，使小车整体与地面平行。



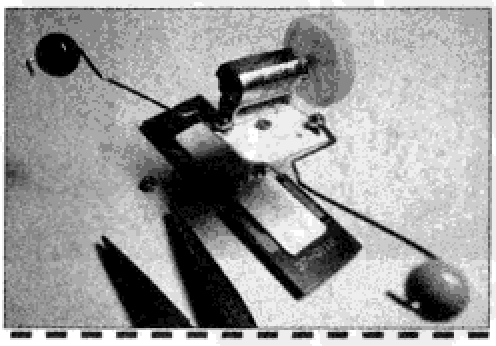
8 用双面胶把太阳能电池固定在底板上。



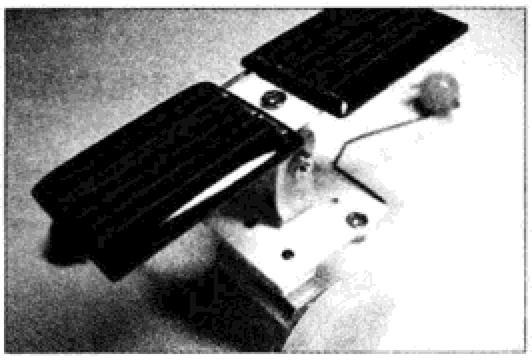
9 把凹凸关节件两部分用M2×10螺丝和M2螺母连接在一起，再用M2×6螺丝M2螺母把凹凸关节件的“凸部分”固定到太阳能电池底板上。



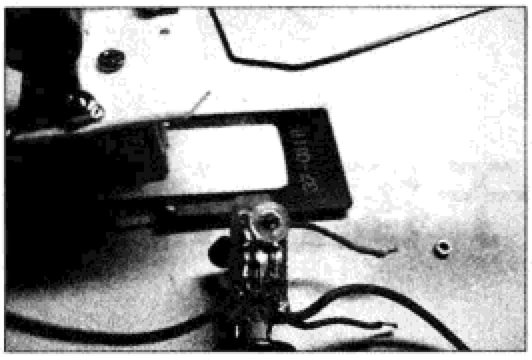
10 把凹凸关节件的“凹部分”用M2×6螺丝和M2螺母固定到小车底盘上。



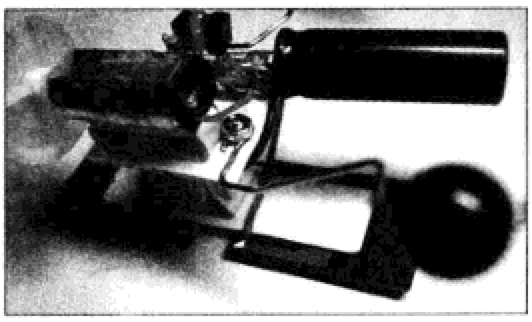
11 把它翻过来，安装好太阳能电池的小车就完成了，接下来安装电路。



12 电路板用M1.2×5螺丝和M1.2螺母，加上一个2mm的塑料垫片，固定到小车底盘上。

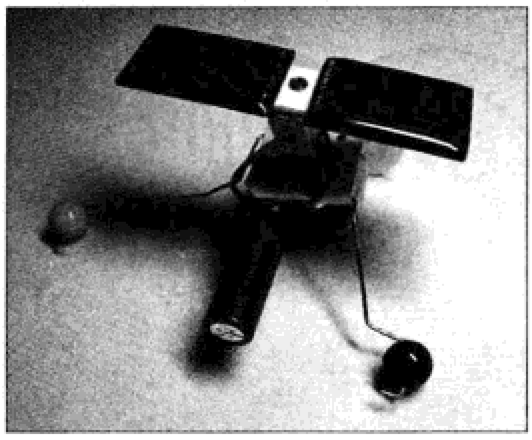


13 把电路板上的电线与电机的电极连接起来，同时把太阳能电池的电线也接好。由于是太阳能驱动，所以这个机器人就不用再安装电源开关了。



整机调试

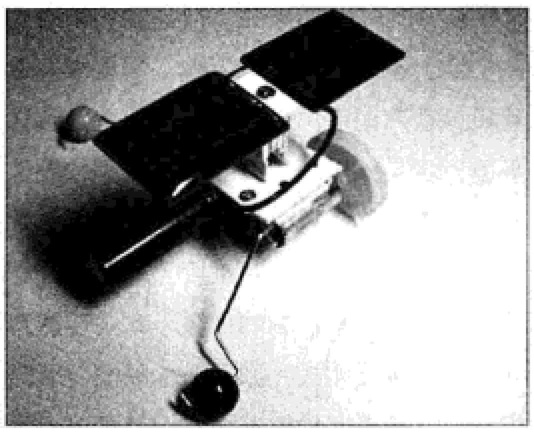
要想让小车滑行得比较远，从动轮的支架在作为轴承的部分要保留足够的空间，不要把轮子夹得太紧，即从动轮转动时摩擦要尽可能的小。



要想小车滑行时能够保持直线运动，则需要通过调整从动轮的支架使从动轮处于最佳位置，3个轮子的方向都与前进方向平行。

项目总结

本项目是一个以简单电子元件电路为控制基础的智能机器人。虽然本项目的机械结构比较特殊，且在实际中应用得并不多，但作为一次思维的发散扩展训练，本项目也不失为一个不错的能够积累实践经验的实例。

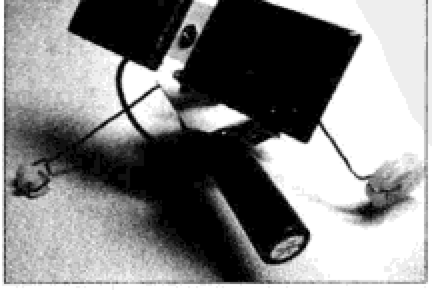


失败的设计

这里不得不提一下，太阳能滑行机器人的最初版本，是采用大齿轮作为主动轮，采用小滑轮作为从动轮的。但经过测试，不得不淘汰该设计，主要原因有：

(1) 主动轮用大齿轮，导致与地面的接触面较小，在稍微光滑的地面运动容易打滑，走不动。改进版改用滑轮，如果摩擦还是不够，可以在滑轮外箍一卷橡皮筋或者皮带。

(2) 从动轮用滑轮，由于轮子侧面厚度比较小，用曲别针制作的支架做固定时，要么容易太紧导致轮子转不动，要么容易太松让轮子摆动过大无法保持直线运动。改进版改用圆珠子代替，整个轮子不容易摆动，且可以较好地保持转动的润滑。



淘汰的设计——太阳能滑行机器人的最初版本

本文要点

- 了解随动系统的基本原理。
- 掌握循线小车这一机器人爱好者必修课的不同解决方案。
- 了解模拟计算机解决问题的方式。

◎臧海波

不用单片机，小车也能循线

基于模拟计算机的循线小车

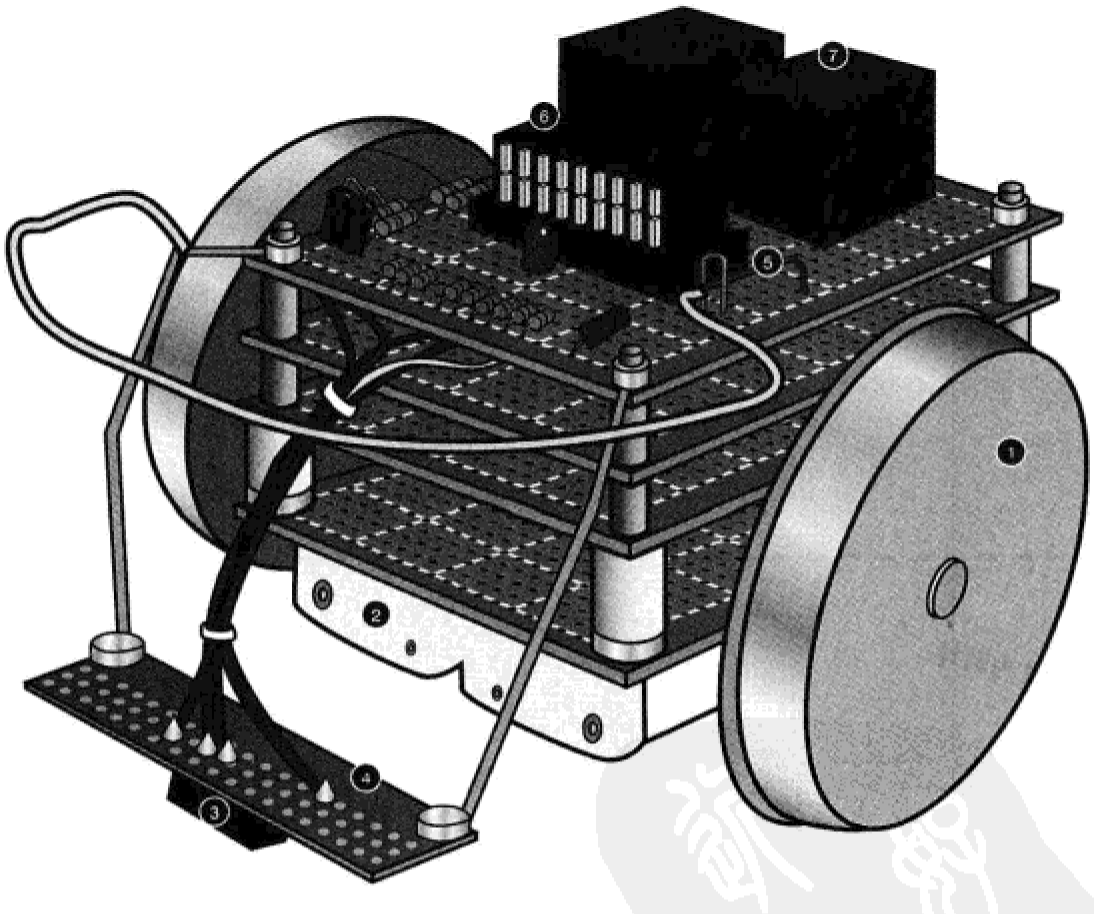
觉得PVC-Robot制作难度太低、功能太简单、不过瘾？不要紧，接下来这款循线小车或许能满足你。它由传感器和线性比例器构成，通过模拟计算机控制，原理简单易懂，无需编程，只要具备模拟电路知识就可以上手制作。

循线小车的制作可以说是机器人爱好者的一门必修课，但是我们常看到的文章大都基于单片机架构，需要掌握单片机、程序语言、开发环境、算法、编译环境、烧录软件、下载器等一系列软硬件知识才能制作，对于没有系统学习过单片机的爱好者来说有一定难度。本文所介绍的由模拟计算机控制的循线小车由传感器和线性比例器构成，原理简单易懂，无需编程，只要具备模拟电路知识就可以上手制作。

循线小车的控制原理

这台循线小车是由模拟计算机控制的。模拟计算机是用电流、电压等连续变化的物理量直接进行运算的计算机，由运算放大器构成核心器件，运算过程不存在模数-数模转换和编程算法的问题。

小车每侧的车轮由两只反相器组成的比例器控制，通过继电器带动减速电机运转。这里使用的是一片八路反相驱动芯片74HC240作为模拟计算机的核心。读者也可以使用通用运算放大器接成反相器来替代，控制效果是一样的。



机器人的结构

❶ 支撑轮（内装电机）
❷ 电池仓
❸ 红外线光电开关
❹ 循线控制板
❺ 网线和电阻腿制成的避障开关
❻ 74HC240八路反相驱动芯片
❼ 继电器

■ 机器人视频及更多图片资料见作者博客：http://digi01.blog.163.com

表1 制作所需的材料

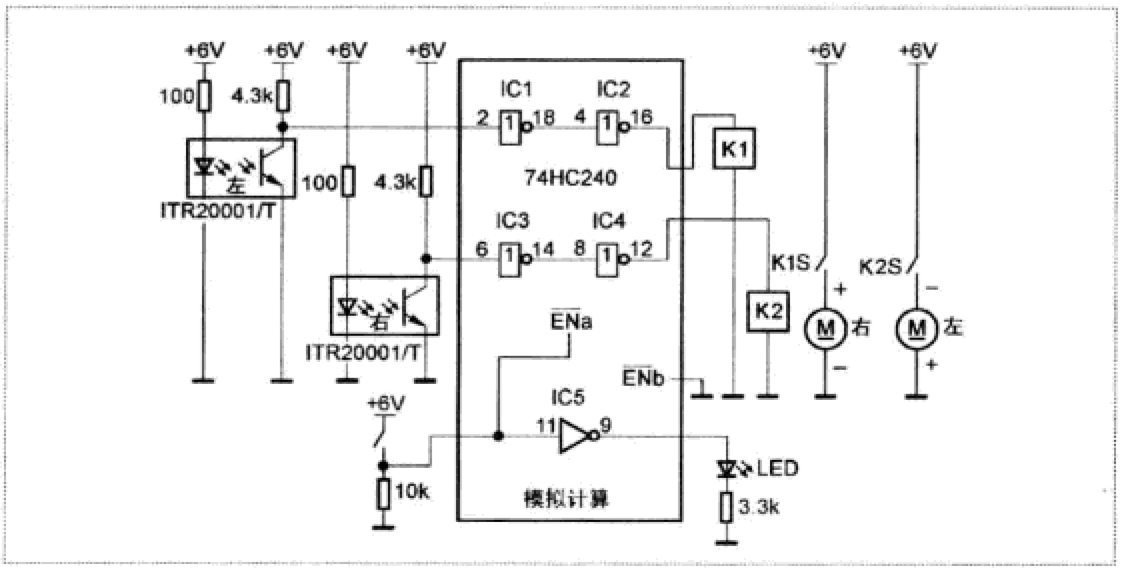
名称	数量
瓶盖	2个
GA12YN20减速电机	2个
工业端子排	1条
通孔珠子	1个
曲别针	1个
M3螺丝、螺母	若干
洞洞板	若干
M3套管	4个
M3铜柱	若干
4AAA电池仓	1个
双面胶带	适量

表2 元件清单

型号	数量
ITR20001-T红外线光电开关	2个
74HC240配插座	1个
5V小型继电器	2个
100Ω电阻	2个
3.3kΩ电阻	1个
4.3kΩ电阻	2个
10kΩ电阻	1个
网线芯	若干
洞洞板	若干
LED	1个
细导线	若干

表3 循线小车的运动状态

状态	避障开关	右光电开关	左光电开关	继电器K1	继电器K2	右轮	左轮	小车
1	断	黑	黑	吸合	吸合	转	转	前进
2	断	白	白	释放	释放	停	停	停
3	断	黑线	白	释放	吸合	停	转	顺时针转
4	断	白	黑线	吸合	释放	转	停	逆时针转
5	通	任意	任意	释放	释放	停	停	停



模拟计算机循线小车的电路图

以下是小车运行状态的分析：

◆**直线前进**：当比例器输入端的红外线光电开关检测到黑线的时候，红外线接收管接收到的反射光减弱，接收管呈高阻状态，比例器输入和输出都是高电平，驱动继电器吸合，与之相应的减速电机带动车轮转动。当左右两只光电开关都检测到黑线，两只继电器同时吸合，小车全速直行。

◆**抵达终点停驶**：当黑线终止的时候，两个光电开关发射管发出的光线经地面反射至接收管，接收管接收到的入射光增强，比例器输入电平降低，输出电平跟着降低，两只继电器释放，小车停驶。

◆**顺时针转弯**：由此不难分析出小车拐弯时的状态：以小车为第一视角，行驶中遇到顺时针弯道，左侧光电开关首先脱离黑线，继电器K1释放，右轮停转，左轮带动小车顺时针转动，直至左侧光电开关恢复到黑线上方。

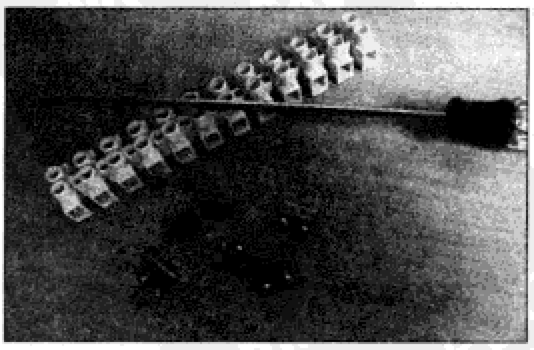
◆**逆时针转弯**：逆时针弯道的转向状态与上面相反。

◆**避障停驶**：避障控制是利用74HC240的使能端来实现的。当小车前方没有障碍物的时候，74HC240的1脚因为10kΩ下拉电阻的作用，保持在低电平，对应的4只反相器IC1、IC2、IC3、IC4为使能状态；9脚为高电平，LED灯亮，小车按设计运转。当遇到障碍物的时候，1脚为高电平，4组反相器呈关断状态，LED灯灭，小车静默。避障开关的优先级高于光电开关，无论小车在哪种运行状态，只要避障开关被触发动作，都会强制小车进入静默状态。

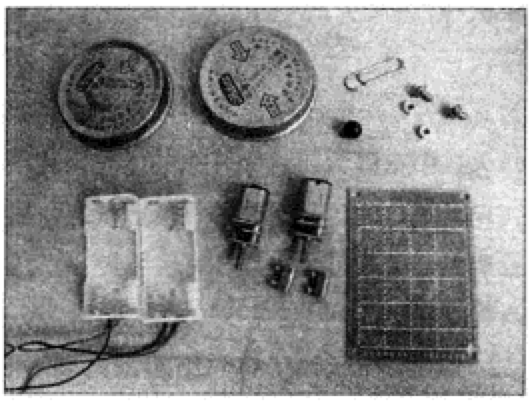
以上5种运动状态总结起来如表3所示。

小车底盘的制作

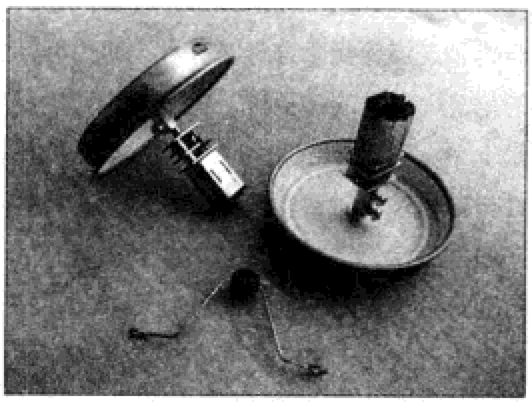
1 从工业端子排里面拆出两套铜芯，作为轴连器，用来连接车轮和电机。我用的是380V10A的端子排，拆出的铜芯内径是3mm，可以用压接的方式把3mm的螺丝与电机输出轴对接起来。这种端子排在一般的五金灯具市场都可以买到，吸顶式节能灯的镇流器里面也有这样的铜芯。



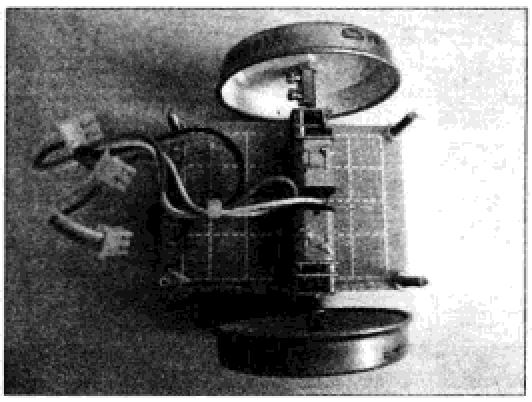
2 电机使用的是GA12YN20型直流减速电机，6V电压下空载输出转速为30r/min。除了电机，其他材料都是生活中常见的。瓶盖用来做车轮，要选择直径比电机大一些的盖子，这样使小车下面的电池仓距离地面有一定高度，不会蹭底盘。盖子边缘厚一些，可以增加摩擦力，小车走起来不会打滑。我用的是婴儿食品的金属盖子，铁灰色，比较耐看。



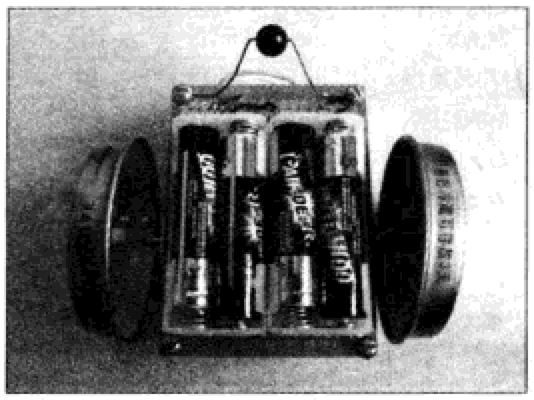
3 在瓶盖的中心打一个内径3mm的孔，借助一颗3mm的螺丝和步骤1提到的轴连器，连接好电机和车轮。用曲别针穿上珠子，弯成图中所示的形状，作为小车尾部的支撑轮。



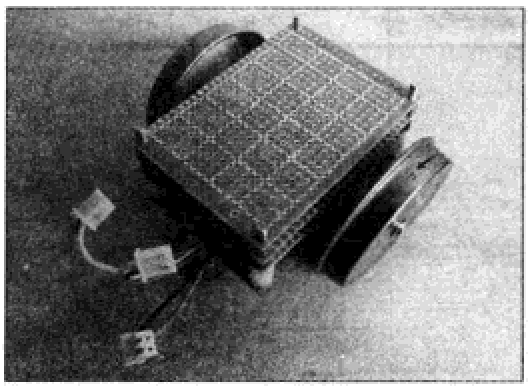
4 把减速电机稍微靠前固定在一片洞洞板上。电机是用铁丝缠绕并焊接固定的，也可以用热熔胶固定，或者用薄铁皮做一对箍子，配合螺丝把电机压在电路板上固定好。



5 小车尾部的支撑轮用螺丝固定在电路板下方。电池仓直接用双面胶贴在洞洞板下面。

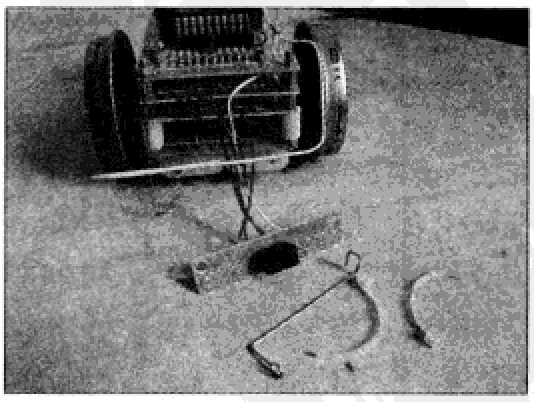


6 我使用的是5cm×7cm的预制洞洞板，四角有安装孔，借助铜柱可以很方便地把板子一片片叠起来。两只电机和电源单独引出接头，方便将来与上面的控制板相连接。这样，一个灵巧的小车底盘就做好了。5cm×7cm的洞洞板上有足够的焊盘数量，将来也可以用它来做单片机控制的小车，更换不同的控制板，实现不同的用途。

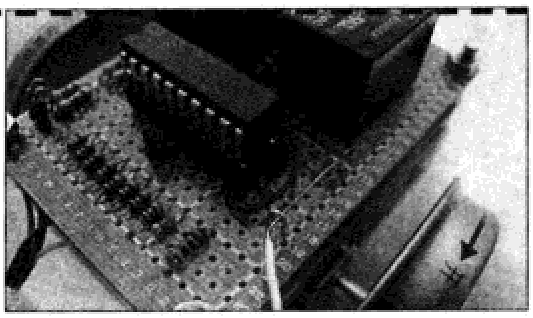


循线控制板的制作

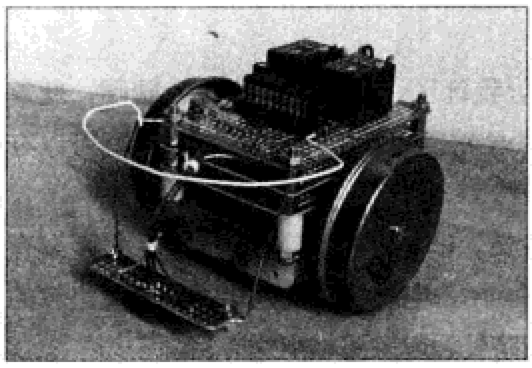
1 将两只红外线光电开关焊接在一片裁剪成条形的洞洞板上，要求模块间距略小于路面黑线的宽度。也就是当小车直线行驶时，两只模块同时位于黑线上方。用两根曲别针弯成一对L型的支架，把传感器板固定在小车前部。铁质曲别针很好定型，使得调整、微调光电开关与地面的间距变得很简单。线路图里面的100Ω和4.3kΩ电阻数值是配合ITR20001-T型红外线光电开关，经过实际试验决定的。在传感器距离地面5mm的情况下，可以准确动作。如果爱好者使用其他型号的光电开关，电阻数值需要做适当调整。

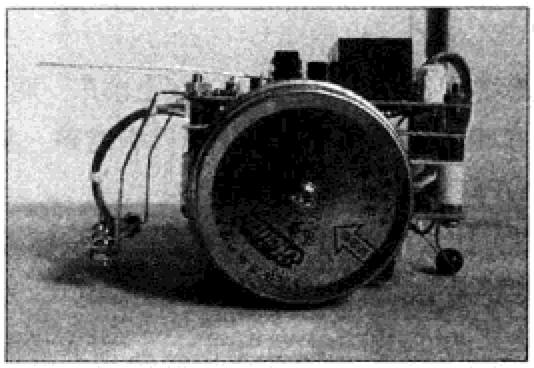


2 避障开关简单到只需要一根电阻腿，一段网线。用电阻腿弯一个圆圈焊在洞洞板上，做为开关的定片；网线剥皮穿过圆圈焊在洞洞板上，与圆圈保持微小的间距，作为开关的动片。在网线碰到物体的时候，定片和动片接触，触发电路动作。74HC系列的芯片为CMOS器件，输入阻抗很高，这里可以忽略开关的接触电阻，即使有几百欧的接触电阻也不会影响电路的正常动作。实际上这个简陋的土制开关动作非常灵敏。

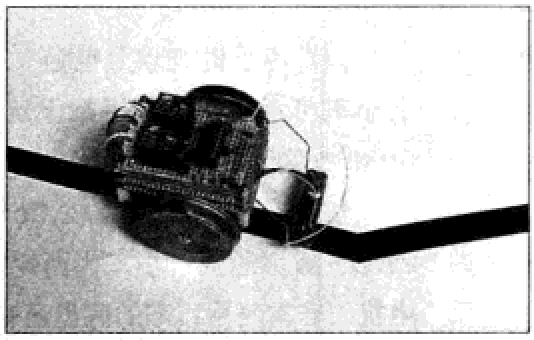


3 因为电路比较简单，控制板的焊接过程不再作过多说明。5cm×7cm的洞洞板空间很大，我把光电开关的电阻用串并联的方式焊在电路板上，这样有两个好处：一是可以很方便地通过短路个别电阻来调整传感器灵敏度，二是电阻分散的布局使得线路板看上去不会显得太空，外观上比较美观。





4 至此，我的模拟循线小车就整装待发了。我用的是旧挂历和黑色塑料胶带做的简易轨道。我先后在不同材质的表面——挂历纸、切菜板、瓷砖、白纸、白色办公桌等上做过实验，小车运转效果都非常好。



调整与优化

从自动控制系统的角度来分析，本文所制作的循线小车（包括其他文章介绍的单片机循线小车）是一个随动系统，随动系统的输入信号是一个随时间变化的函数，系统的任务是在存在扰动的情况下，保证输出量并以一定的精度跟随输入信号而变化。

随动系统在工业、交通和国防等部门都有着广泛的应用，比如机床的自动控制，车辆的智能转向，火炮的控制和卫星导航等,都有着它的身影。机器人爱好者制作的循线小车可以说是一台小中见大的模型，分析和改善它的不足，对深入了解大型的系统亦会有很大帮助。

比如，这台循线小车使用继电器来控制电机转动，电磁式继电器具有吸合电压高于释放电压的特性，相当于在控制系统中加入了积分环节。微型电机的减速箱，存在齿轮传动间隙。这些因素都会增大系统的稳态误差值，直观的结果是小车遇到弧度比较小的轨道时转弯效果不好，会出现车体来不及响应运算指令，传感器同时脱离黑线的情况。而从弧线进入直线的时候，因为齿轮间隙造成光电开关的位移误差，左右两边的继电器会频繁动作。

以下有几个改进的办法供大家探讨：

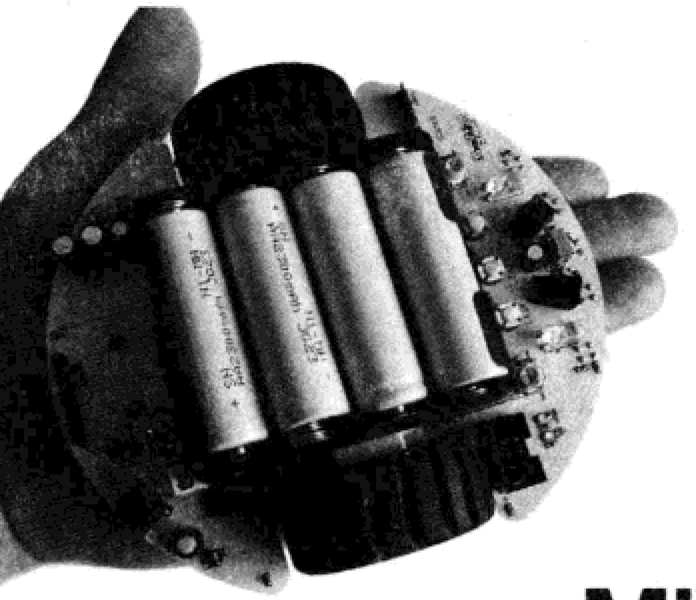
◆使用快速响应的电机驱动电路，比如在单片机小车里面经常采用的L293D、L298N等电机驱动芯片。

◆增加光电开关的数量，这个方法在单片机循线小车里也广泛采用，原理是相通的。

◆在光电开关与比例器之间加入由阻容器件构成的串联超前校正网络和相应的补偿放大器。比例加微分控制（PD）就是一种超前校正装置，可以提高小车运行的稳定性和快速性。

还可以对光电开关和避障开关进行改进。使用经过调制的信号来驱动光电开关的红外线发射管，接收管的输出经过滤波器再进入模拟计算机，以避免外界杂散光线的干扰。使用红外线或超声波模块的开关量输出脚，把避障开关改成非接触的模式。

随着科技的发展，数字计算机在各个行业被大量应用，相比之下，与模拟计算机有关的应用资料变得越来越少，本文把这种“古董”技术发掘出来，加以实际应用，意在抛砖引玉，给大家扩展一下思路，从多个角度去思考问题。



本文要点

- 车型机器人的构造。
- 实现循线、寻光等不同功能需要用到哪些部件。
- Arduino、AVR编程技巧。

一起来玩车型机器人 编程

◎刘英杰

兼容Arduino、AVR开发环境的可编程掌上小车

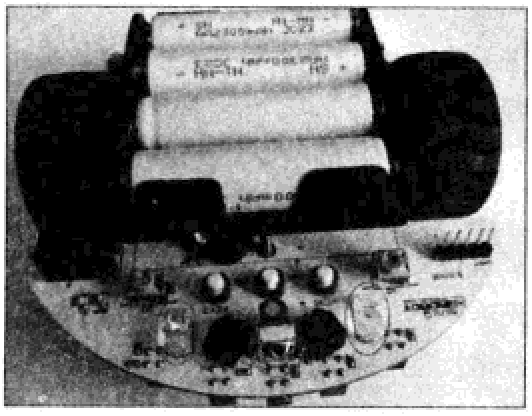
MiniQ 2WD二轮驱动机器车

你肯定听说过掌上电脑、掌上游戏机吧，那你听说过“掌上小车”吗？最近我玩了一款这样的小车，嘿嘿，此掌上小车可不是让你在手掌上玩的小车哦，是只有手掌大小，具有避障、循线、寻光、遥控、唱歌等功能，既可以在Arduino环境下开发编程，也可以在AVR环境下开发编程的小车。

整个车的长度仅为12.2cm左右，比成年人的手掌还短些，跟鼠标差不多长，非常小巧、精致。既然名字里有2WD，顾名思义，小车为两轮的。轮胎采用的是橡胶轮胎，直径42mm、宽度19mm；电机采用的是mini的金属齿轮的电机，非常耐用；车的底盘还有4个蓝色的LED灯，上电后即发光，非常漂亮，在暗处看起来更加炫彩夺目。

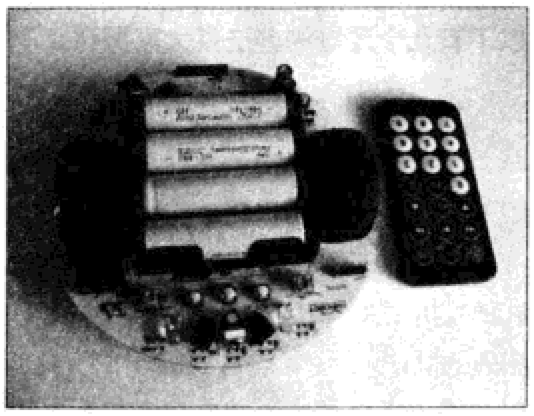
避障功能

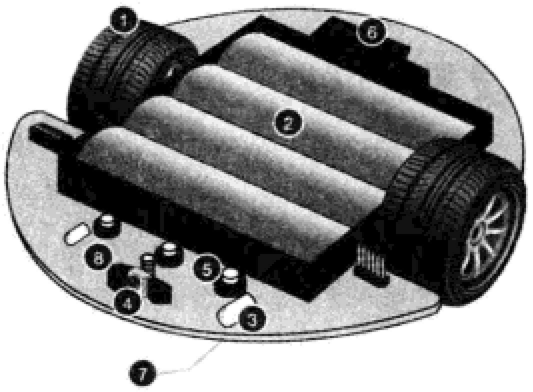
MiniQ 2WD具有两个红外发射管和一个红外接收头，可以利用这3个元件和相应的程序让小车实现避障功能。在程序中，让两个红外发射管发射一定宽度的脉冲，通过检测红外接收管是否接收到脉冲来判断是否有障碍物。有了避障功能就可以将它放在室内放心地跑啦，不用担心它被撞坏或者撞坏其他物体。



遥控功能

另外，还可以利用红外接收头配合mini遥控器，成为遥控小车。按下遥控器的按键来发射脉冲，红外接收头接收脉冲，程序中通过对红外接收头接收到的脉冲进行解码来判断是哪一个按键按下，即可让小车执行相应的动作。这下子你可以完全指挥它啦，让它成为你的小兵。

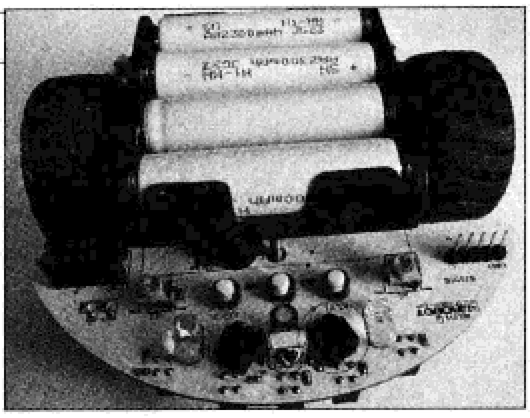




机器人的结构

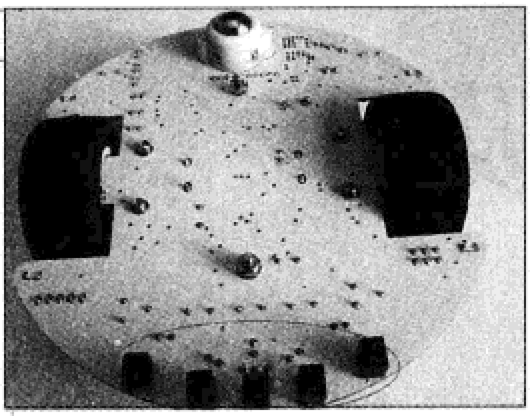
1. 橡胶轮
2. 电池
3. 红外发射管（左右各一）
4. 红外接收头
5. 可编程的按键（共3组）
6. 可附加的无线模块
7. mini循线传感器（共5组）
8. 光敏电阻（左右各一）

寻光功能



MiniQ 2WD 具有左右两个光敏电阻，可实现寻光功能。将小车放置在要进行寻光的环境中，让小车记住环境光的电压值，接着将光源对准小车，小车即可随着光源左转、右转、原地转圈。当然，你也可以根据你的思路编写出更炫的寻光程序。

循线功能



车底盘具备5个mini循线传感器，可实现循线功能。可以先设置一下，让小车记住传感器在非赛道上检测到的电压值或者在赛道上检测到的电压值，以此值为界限值来区分赛道和场地，从而实现循线的功能。具备这个功能，你就可以让它去参加循线比赛啦，绝对遵守规则，哪里是赛道就往哪里跑。

其他功能

除了以上的功能，MiniQ 2WD小车还具有3个可供编程的按键，可以利用蜂鸣器给你唱歌，你可以充分发挥你的才能，利用此小车实现更有趣味的功能。4节5号（AA）电池即可给小车供电。

我们在《无线电》杂志网站 www.radio.com.cn 上提供了一个在 Arduino 环境下编写的综合程序，这个程序综合了避障、循线、寻光、模拟袭击者行为（没有物体在小车前方时，小车静止不动；当有物体出现在小车前方时，小车突然加速前进）、模拟小鸡行为（前方没有物体时，小车前进；前方有物体时，小车绕行）、遥控（按住前进、后退、左转、右转键，小车做出相应动作，松开按键，小车停止）等功能，各个程序的执行是通过按键选择来进行的。该程序实现的功能如表 1 所示。

表1

功能或模式	循线功能	避障功能	寻光功能	袭击者模式	小鸡模式	遥控模式
用到的按键	key_1、key_2	key_2	key_2	key_3	key_3	key_3
启动功能	调整传感器（注）完毕后，第 6 次按 key_1 按键，红绿两个灯均灭。	第1次按key_2按键	第3次按key_2按键	第1次按key_3按键	第3次按key_3按键	第5次按key_3按键
结束功能	第7次按key_1按键。	第2次按key_2按键	第4次按key_2按键	第2次按key_3按键	第4次按key_3按键	第6次按key_3按键

注：将MiniQ 2WD放到场地的非赛道部分，按一下key_1按键，选择左边第一个传感器，红灯亮；按一下key_2按键，value[0]值加1，直到绿灯亮。重复上述过程，换下一个传感器调整，直到5个传感器都调整好。

开发环境和下载方式

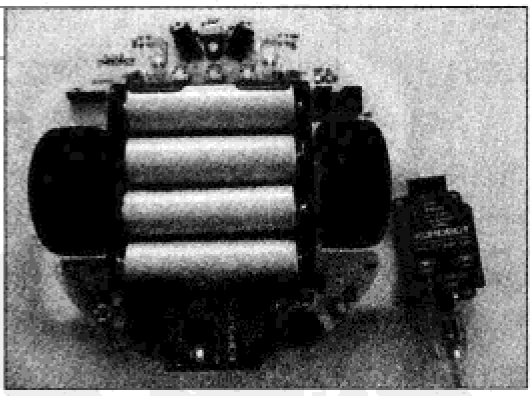
MiniQ 2WD既可以在Arduino环境下开发使用，又可以在AVR环境下开发使用，真的很方便。建议初玩电子制作的朋友在Arduino环境下开发，这个环境很简单、方便，有经验的朋友们可以两个环境都试试。

MiniQ 2WD有3种下载程序的方式：

（1）AVR 开发环境下可以在线下载程序，即将在线下载器插在小车上标有 ICSP 的接口上即可下载程序。

（2）Arduino 开发环境下可以通过 UART 串口下载程序。

（3）Arduino 环境下还可以利用 DFduino wirelesws 无线下载模块，以无线方式下载程序。在不便连接或根本就无法连接（如机器鱼）USB 线缆的场合，DFduino wirelesws 模块可以在一定范围内实现程序的无线下载。除支持 Arduino 产品的无线程序下载外，此模块还可以用作通用的无线数据传输（UART 接口）。此外，它还可以通过兼容 XBee 模块的扩展板来实现对 Arduino 全系列控制器在一定范围内进行无线编程（这种方式还需要使用 USB 线、XBee 适配器配合）。（注：此模块不含在此小车套件中。）



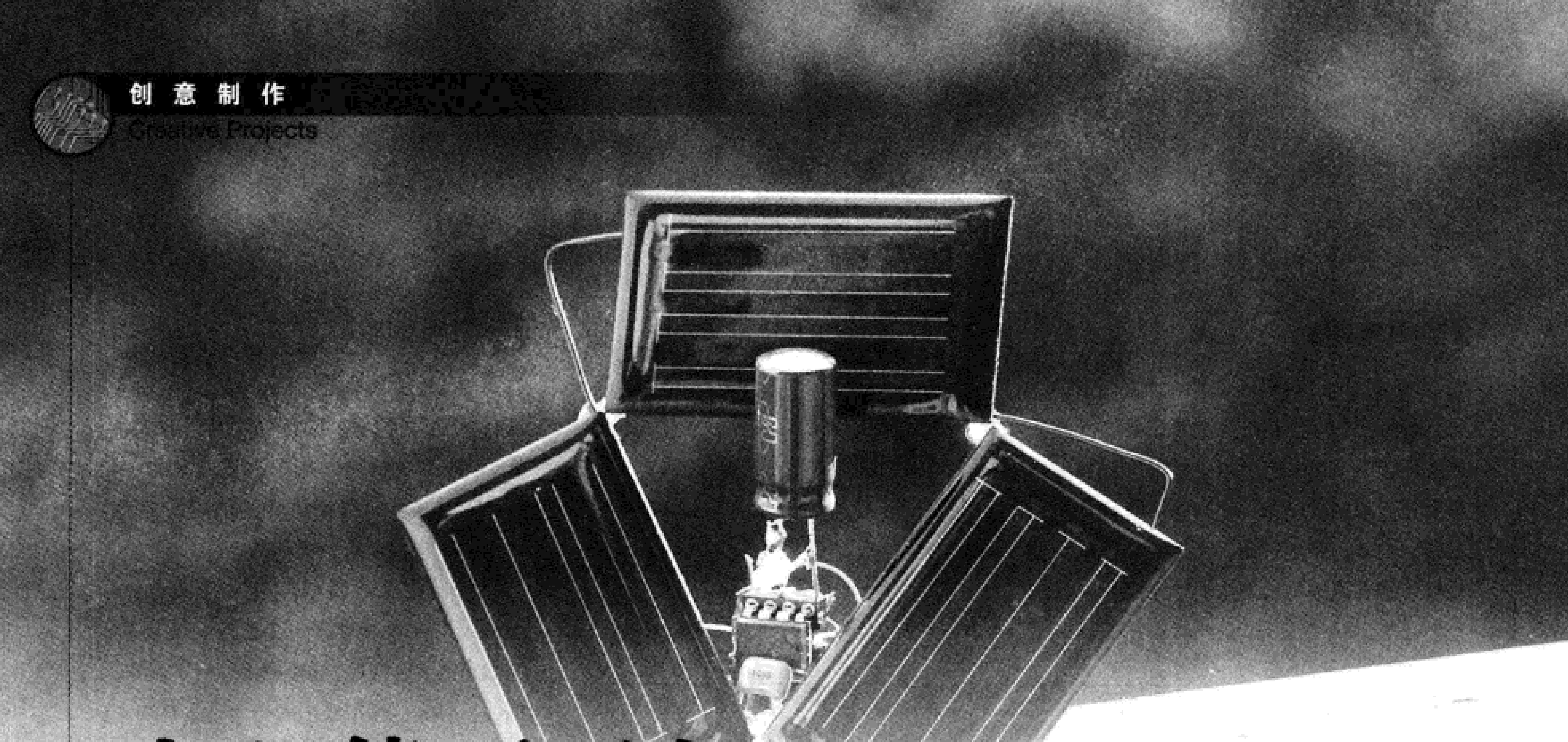
套件销售

价格：379元/套 + 15元(邮费)

购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/



太阳能呼吸灯

◎孙德庆

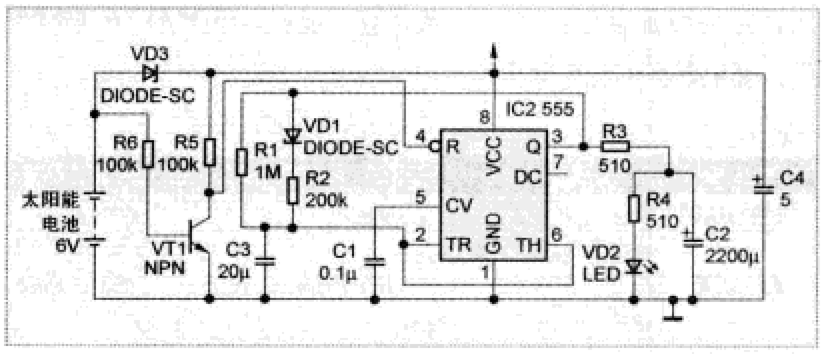
BEAM机器人目前在国内还不普及，主要的电路设计都来自国外。这往往会导致电路的选材不容易在国内获得。本文要介绍的这个太阳能呼吸灯其实也算一个小小的BEAM机器人，不过选材非常容易，使用555做核心，白天吸收太阳的能量，晚上就可以闪烁出呼吸灯的效果。

这种电路在分类上属于Pummer，有光时储能，无光时工作。为了节省电力，一般需要以闪烁的方式工作。比较流行的这类电路是用一片74AC240，利用太阳能电池来控制芯片的工作，用两个仿生神经元来构成振荡器，然后用74AC240上剩下的非门放大输出。采用这种方式的电路连接较为简单，但是芯片比较难在国内获得。这里我使用较为常见的7555来实现振荡及控制。7555为555的CMOS版本，工作电压更宽，而且功耗很小。

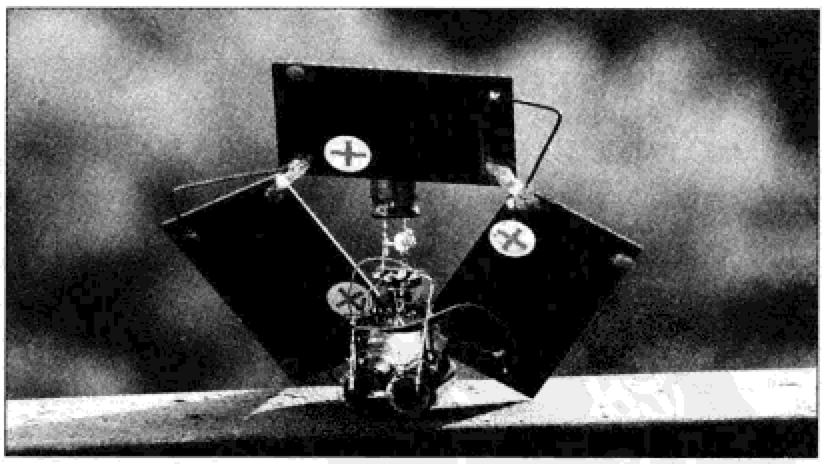
电路中，555构成RC振荡器，为了产生不对称的方波，振荡电阻使用两个，其中一个串联二极管，使电容充放电速度不同。当Q端输出高电平时，C2上电压缓慢上升，LED亮度逐渐升高。Q端输出低电平时，C2上的电压逐渐降低，LED亮度逐渐下降，形成呼吸灯的效果。由于555的复位端是低电平有效的，与太阳能电池板的电压正好相反，所以加入一级NPN晶体管来使太阳能电池板的电压反向，以达到黑暗时工作的目的。

对于这个电路来说，元件的数值不必非常精确。但是如果要改变发光的持续时间和间隔，可以稍作调整。增加R1或C3的数值，可以延长发光周期，增加R2的数值可以延长发光时间。增大C2，可以减缓LED亮度变化的速度。另外，在R3上串联一个低压降二极管，可以避免电流反向流出，延长熄灭过程的时间。

这种比较简单的电路可以无需电路板，直接搭棚焊接。可以



太阳能呼吸灯电路图



选用8脚圆孔IC座，在上面搭建电路。有些相邻引脚间的元件可以选用贴片式，以减小空间消耗。之后，组件的连接可以使用热熔胶加固。

读者还可以根据自己的需要，发挥想象力，将这个Beam bot搭建出不同的风格，让作品能真正符合Aesthetic（美学）的要求。

玩转Arduino

无线模块 让Arduino更自由

◎程晨

Arduino简单易用，使得更多的人能够将自己的想法变成现实，但仅仅依靠Arduino是不够的，各种各样的外围模块也是必不可少的。上期杂志为大家介绍了Arduino的部分传感器模块，它们可以构成以Arduino开发板为基础的机器人的器官世界，本期笔者整理了4种应用于Arduino开发板的无线模块，它们是APC220、DFduino wireless、Bluetooth V3和XBee 1mw，4种模块均可直接插在Xbee传感器扩展板V5 (曾在2010年第11期及上一期《无线电》杂志中介绍过) 上使用。就让我们以遥控小车为应用平台，走近这几种无线模块吧。

应用平台

先来简单介绍一下无线模块的应用平台——遥控小车（图1）。这款遥控小车也是基于Arduino设计制作的，它通过接收无线模块的命令来决定运行轨迹，程序流程如图2所示。程序写好后，先在PC上用串口调试工具验证一下小车是否能按流程图做出动作，然后就可以接入无线模块了。

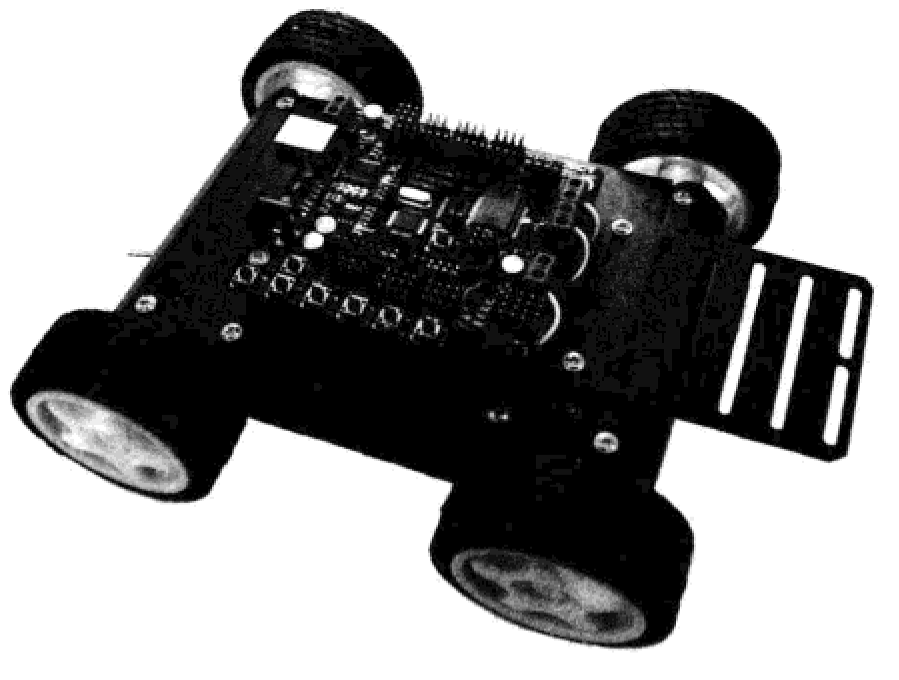


图1 用Arduino控制的遥控小车

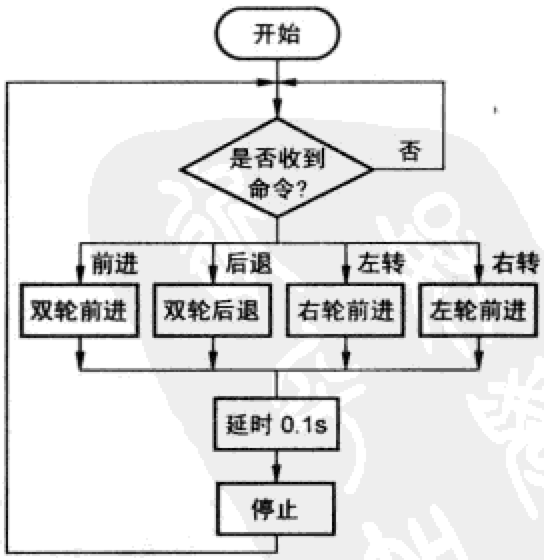


图2 遥控小车的程序流程图

APC220

APC220模块是一款半双工微功耗无线数据传输模块，提供多个频道的选择，具有丰富便捷的软件编程设置功能，可设置7种速率和3种接口校验方式，对外为UART/TTL接口。传输距离可达到1000m（开阔地可视距离）。

模块的设置通过本身的UART/TTL接口完成，所以在计算机端需要连接USB TO UART/TTL接口转换板（图3中最下面带有USB接口的小板子）。

将两个模块设置好后，就可以使用了。

1. 将一个APC220模块连接到遥控小车上，见图4。

2. 将另一个APC220模块通过USB TO UART/TTL接口转换板连接到PC上，见图5。

3. 或者将另一个模块连接到基于Arduino的遥控器上。遥控器上有一个摇杆，改变摇杆的位置，遥控器就会发送一条控制命令，见图6。

4. 通过遥控器或PC机发送命令就能够控制遥控小车了，见图7。

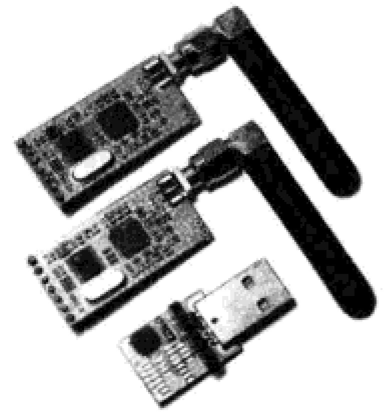


图3 APC220模块

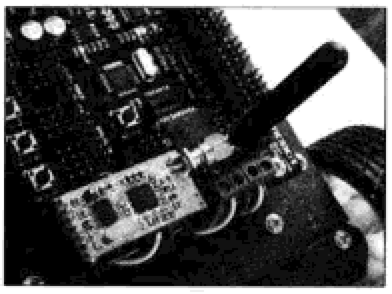


图4 将一个APC220模块连接到遥控小车上

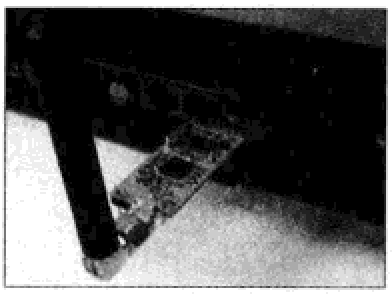


图5 另一个APC220模块通过USB TO UART/TTL接口转换板连接到PC上

图6 或者将另一个模块连接到基于Arduino的遥控器上

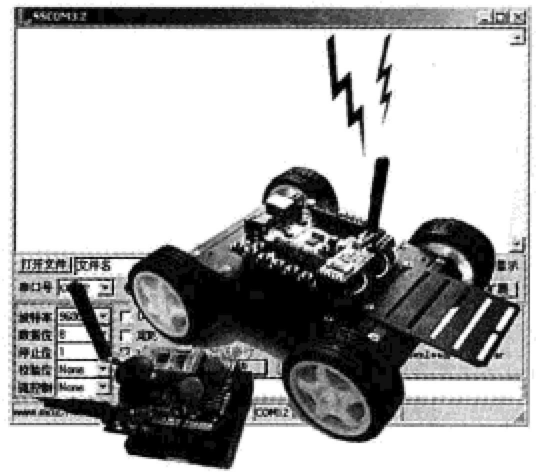


图7 通过遥控器或PC机发送命令就能够控制遥控小车了

DFduino wireless

在调试遥控小车的程序时，发现程序有问题，又觉得小车跑得太远不想过去拿，这个时候DFduino wireless模块就显示出它的优势了。DFduino wireless模块除了可以像APC220模块一样进行无线数据传输外，其独有的无线编程模式非常适用于Arduino不便连接或根本就无法连接USB线缆的情况下。当对Arduino进行无线编程时，要注意模块的时限设置，具体设置值可以查看相关的技术手册。模块上有两个拨码开关，分别用于设置模块的模式和出厂编程模式。DFduino wireless模块可设置10种速率，但其传输距离较短，室外理论传输距离为20m，其用法与APC220模块类似。

图8 DFduino wireless模块

Bluetooth V3

Bluetooth V3模块基于蓝牙通信协议研制，自带高效板载天线，信号质量好，可与各种蓝牙适配器、蓝牙手机配对使用，使我们可以用手机控制小车。Bluetooth V3蓝牙模块通过USB to Serial模块进行简单设置后就可以“上岗”了，这里我们重点讲讲如何使用基于Andriod系统的智能手机控制遥控小车。

A. 在PC上通过USB to Serial模块对Bluetooth V3蓝牙模块进行设置，见图10。

B. 将设置好的Bluetooth V3蓝牙模块连接到遥控小车上，见图11。

C. 先用PC机通过蓝牙控制遥控小车，见图12。

D. 选择一部Android系统的手机，安装Amarino软件。运行Amarino软件后能够搜索到蓝牙设备Bluetooth_V3，选择connect按钮，见图13。

E. 打开遥控小车电源，

图9 Bluetooth V3模块

图10 在PC上通过USB to Serial模块对Bluetooth V3蓝牙模块进行设置

图11 将设置好的Bluetooth V3蓝牙模块连接到遥控小车上

在手机上输入指令就可以控制遥控小车了，见图14。

F. 在Amarino软件上能够实时查看到手机发送的数据。另外软件内有许多的Event可以选择，比如我们选择Compass Sensor，手机就会发送罗盘数据，可以编写一个程序通过手机的方向来控制小车的速度，见图15。还有更多的应用，读者可以自己去尝试。

图12 先用PC机通过蓝牙控制遥控小车

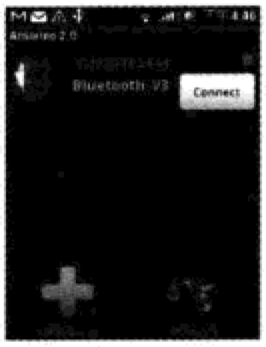


图13 选择一部Android系统的手机，安装Amarino软件，搜索并连接蓝牙设备Bluetooth_V3

图14 打开遥控小车电源，在手机上输入指令就可以控制遥控小车了

图15 在Amarino软件上能够实时查看到手机发送的数据，也可编写程序来控制小车

XBee 1mw

XBee 1mw模块的点对点传输距离为100m，但它的强大之处在于多个模块可以形成一个多跳的自组织Zigbee网络（基于IEEE 802.15.4协议），在网络中的各个节点均可移动，网络的拓扑结构（见图17）也会随着节点的移动而不断地动态变化，有兴趣的读者可以查看Zigbee应用的相关文章和资料。我们在PC上使用X-CTU就可轻易地对模块进行设置，合理地应用XBee 1mw模块，就可以实现多个设备的远距离控制。

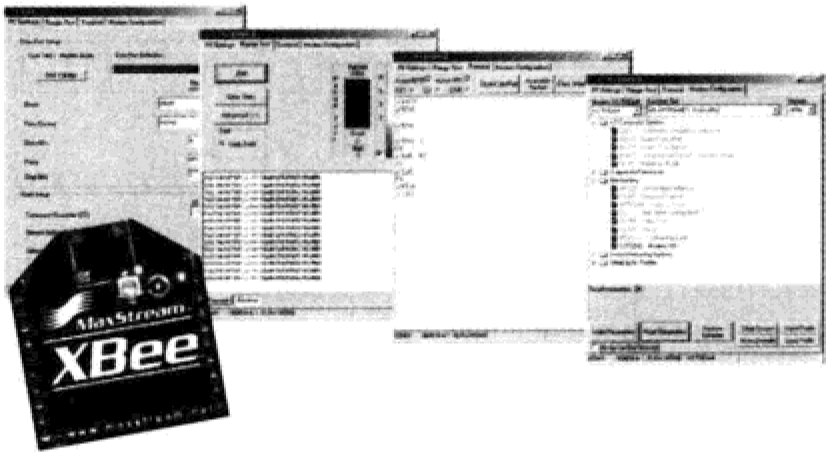


图16 XBee 1mw模块

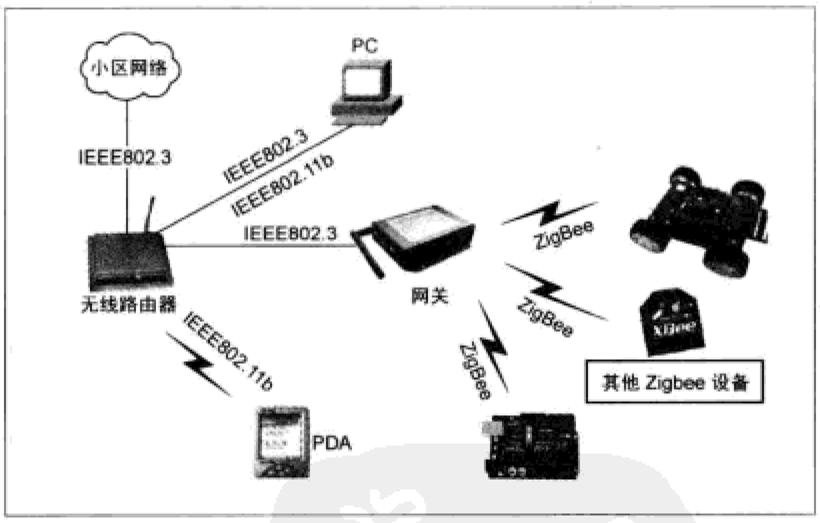


图17 Zigbee网络的拓扑结构

最后，我们将4种无线模块进行简单对比，大家可以挑选适合自己的模块应用到自己的Arduino项目中。其实还有很多基于Arduino的外围模块让开发变得更加简单，有兴趣的读者可以多关注一下。

	APC220	DFduino wireless	Bluetooth V3	XBee 1mw
工作频率（bit/s）	433M	2.4G	2.4G	2.4G
调制方式	GFSK	GFSK	GFSK	Q-QPSK
工作电压	3.3~5.5V	2.7~3.6V	3.5~8V或3.3V/50mA	2.8~3.4V
工作温度	-20~70℃	-30~70℃	-20~55℃	-40~85℃
接口	UART/TTL	UART/TTL	UART/TTL	UART/TTL
传输距离（开阔地）	1000m	20m	20m	100m
特点	传输距离较远	无线程序下载	与手机配对使用	组网通信

模块销售

本文介绍的几种传感器可联系我刊邮购部购买，具体价格可到我刊网站 www.radio.com.cn 上查询，购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

上期我们和大家分享了尼康红外遥控快门的制作，不知你有没有为手上的尼康单反相机也制作一个呢？这期我要和大家分享业余级小型摄影棚的制作，有了它，你可以用数码相机拍出更出色的小静物、小制作、小电路板照片了。

制作你的桌面小型摄影棚

◎温正伟

市场上有许多小型摄影棚套件，价格在200元左右，大多是包括一个桌面型的小摄影棚、两个小台灯座和两只普通三基色节能灯。有了这些，就可以拥有业余级的小摄影棚了。但对于热爱制作的我们来说，制作一套这样的小摄影棚应该是小菜一碟。我在网上找了制作摄影棚的主要材料——柔光布和PVC管支架，而灯光系统我则使用手头上现有的6500K色温、3W功率的LED和工作台灯。这样只要花上不到50元钱就可以拥有一套桌面摄影系统了。

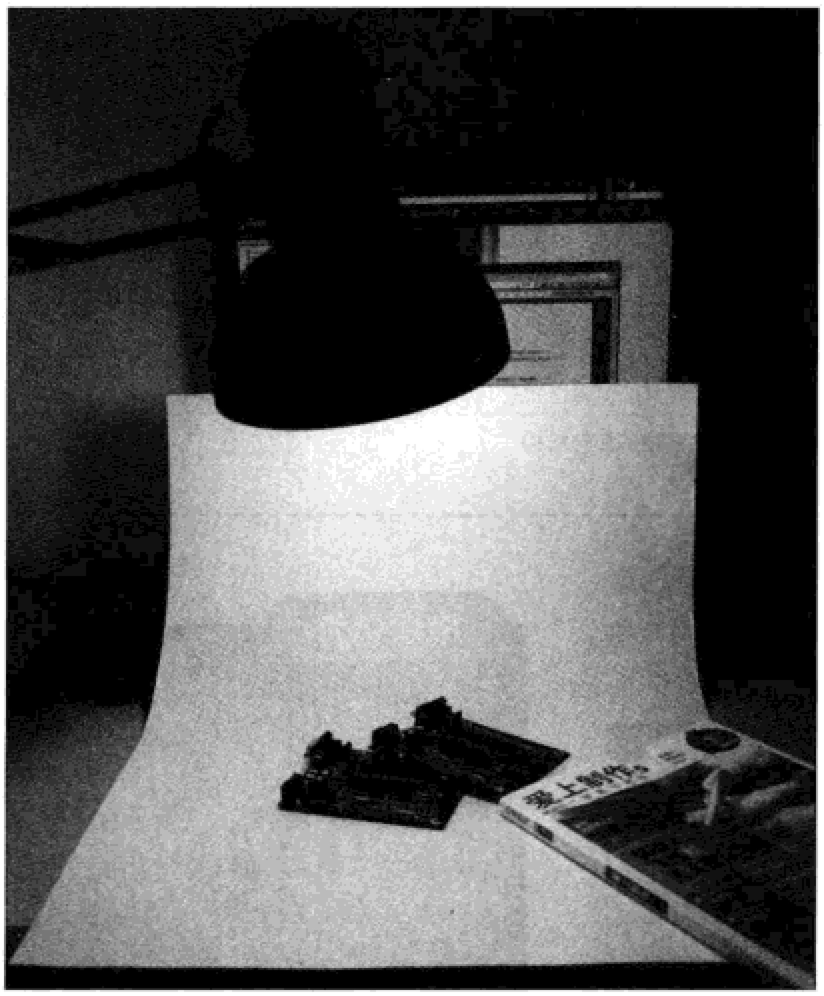


图1 最简单的摄影棚

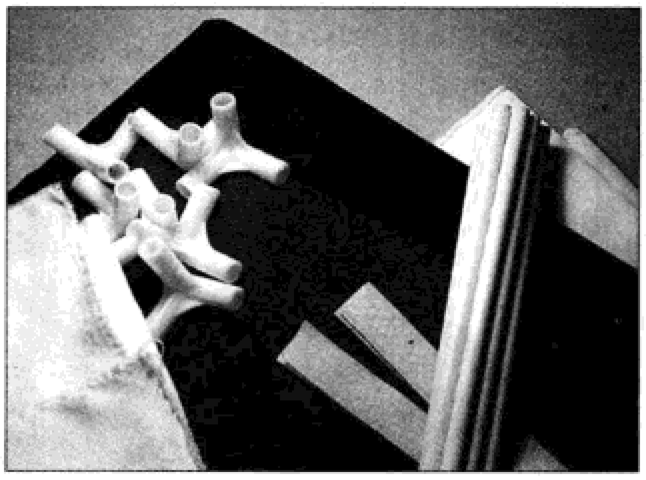


图2 支架、柔光布和各色背景布

在开始制作前，先来分享一下我以前使用的方法，只需要一张白素描纸或有色的卡纸，再加上一个光源，也可以拍出比较好的照片，如图1所示。

制作桌面小型摄影棚的步骤

1. 购买材料

购买柔光布、背景布和PVC支架，如图2所示。柔光布的作用是使光线经过布的柔化形成更柔和的漫射光，更能表现出被摄物的质感。我选用的是40cm的PVC支架套件，包括了12根40cm长的PVC管和8个连接头。当然你也可以用别的材料，比如硬钢丝、木条等来制作，只要能做出个方架子就没什么问题了。40cm×40cm×40cm尺寸的摄影棚可以满足大多数电子爱好者拍摄电子制作的需求。如果这个尺寸满足不了你的要求，你可以选用更长的PVC管，比如60cm的。至于光源，我选用的是飞利浦13W的日光色节能灯和5个6500K色温、3W功率的LED阵列。实际使用时感觉亮度勉强可以，建议使用更大功率的节能灯。专业型的摄影棚中灯的功率大，但价格也是很昂贵的，如果有条件使用，效果就更好了。

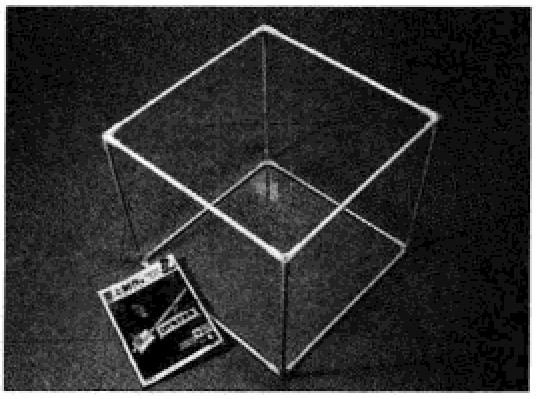


图3 安装好的支架

图4 缝合5块布并锁边

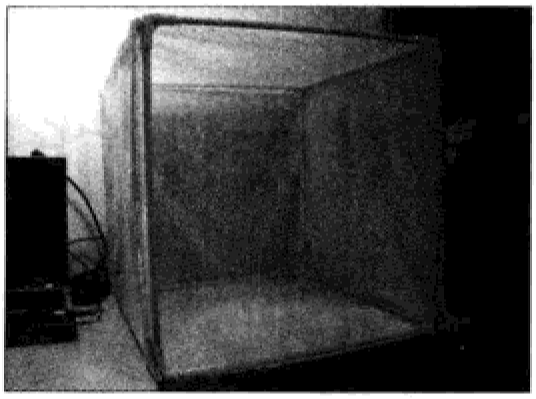


图5 将棚布套在支架上即可完成

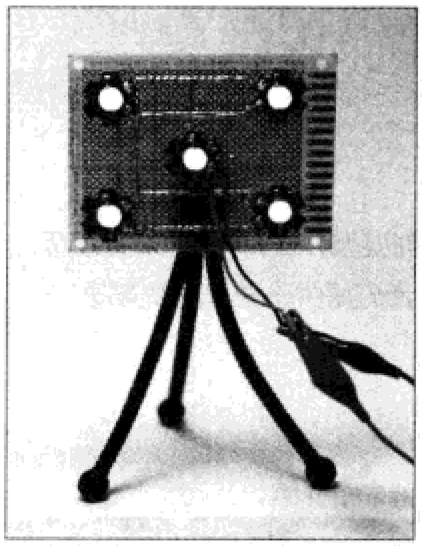


图6 通过小电流时的LED光源

图7 安装节能灯的工作台灯

图8 拍摄现场

2. 安装支架

安装支架最简单不过了，如图3所示。要注意的是，连接头有上下之分，连接时注意看上面的标记。要是搞错顺序，安装出来就不是正方形了。

3. 缝制棚布

把购买到的1m×2m的柔光布裁剪成5块42cm×42cm的方形布块，然后用家用多功能缝纫机缝合成立方体的5个面，并用缝纫机的锁边功能把布边锁上，以免散边，如图4所示。缝合完成后套在支架上就完成了，十分简单，如图5所示。我的缝制水平实在是太“菜”了，缝制后的外观不好看，但不影响使用。如果没有缝纫机，就只能用针线手工缝合或请人代劳了。针线活看上去和电子制作一点关系也没有，但我个人感觉它也具有DIY制作的乐趣。

4. LED光源制作

去年本刊刊登过宋思源先生的《大功率LED及其驱动电路》，大家可以参照它来制作LED光源电路。我是直接使用5颗3W的LED并联组成一个大约15W的光源，直接焊接在万用电路板上，如图6所示。我选用的这种LED自带小型散热片，短时间使用就不需要外加散热装置了。把制作好的万用电路板用热熔胶贴在小三脚架上，就可以方便放置了。电源使用的是可调实验电源，把它调节到3V、2.5A，每只LED可以得到600mA左右的电流，产生足够的亮度。使用可调的实验电源十分简便，如果没有，就需要使用专用的驱动电路，不然使用电源不当会造成LED损坏或亮度不足。当然，如果你不想制作LED光源，全部光源都直接使用三基色节能灯（图7）也可以。光源最好有2个或2个以上，放置在摄影棚的左右方和上方，制造最能体现被摄物质感的灯光环境。

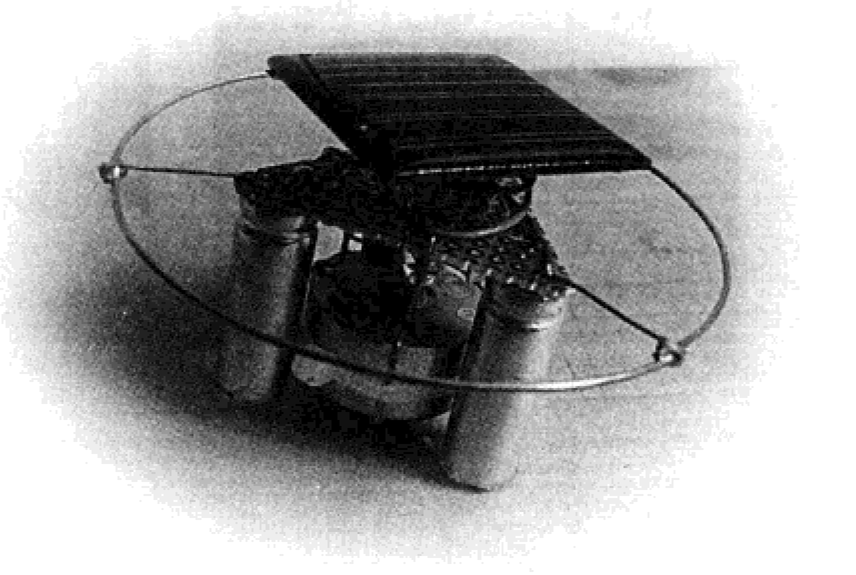
5. 拍摄时的布置

图8所示是正在使用桌面摄影棚拍摄时的场景，我使用了两个光源、黑色的背景布，使用三脚架放置相机，使用自制红外快门来控制相机，拍摄出来的效果还是不错的。白光LED和节能灯都是冷色系光源，如果你拍摄出来的照片有色偏，可以在拍照前设置一下相机的白平衡，调整到日光灯白平衡，或用灰卡（灰色的色卡）手动调节白平衡，以校准色偏。至于设置的方法就请大家自己参阅相机的说明书了，各种相机的具体调整方法并不一样。

微型机器人DIY

微型太阳能陀螺机器人

◎臧海波



跟我DIY机器人

机器人的制作一直是电子爱好者感兴趣的话题，本系列文章将通过一段我自己从兴趣初起到入门制作的亲身经历，由浅入深地介绍一组小型机器人的制作过程，希望能为那些对机电装置有浓厚兴趣的爱好者们提供一些启发和帮助。

在本文中，我们制作一款入门级的微型机器人——太阳能陀螺。它可以实现以下的功能：

◇ 在阳光下自动运转；

◇ 碰到障碍物后转向；

◇ 在无光环境下静默。

这是一只最简单的全自动机器人，它不像居家电器一样需要电源开关，也不需要人来维护，可以7×24小时运转。它的寿命取决于运转环境和机件磨损情况：太阳能电池的设计寿命一般为6年，电解电容的寿命一般为3年，电机的磨损，潮湿环境的侵蚀，都可能会使电子部分失效。制作这个机器人所需要的大部分材料都可以从废旧家电里获得，如果使用较高品质的材料来制作，造价也不会超过一顿午餐的费用。

工具和材料

工具的选择是一门学问，使用正确的工具往往可以事半功倍。必要的基础工具有：20W内热烙铁、剪刀、尖嘴钳、偏口钳。这些都是常用工具，可以在本地电子市场或者网上购买到。为了保证操作安全，电烙铁最好配一个专用的烙铁架。国产工具良莠不齐，不顺手的工具会让你完全没有制作心情，因此，选购工具时，尽量多问问业内人士，网购要做好功课再下单。

为了增加制作乐趣，我建议尽量搜集身边的材料，实在没有再去买。废电脑、电话、手机、游戏机里面都可以拆出有利用价值的材料。我认为，搜集材料的乐趣不亚于制作的乐趣。

制作太阳能陀螺所需的材料见附表。

三极管可以使用常见的小功率塑封管，比如8050、8550对管。电机是光驱仓门机构里常见的那种。在市面上有一种环氧纤维材质的薄洞洞板，可以用剪刀直接裁剪，强度好，重量轻。建议大家买一些回来，后续的制作项目，我们都要用到这种洞洞板。

制作原理

这个太阳能陀螺机器人的电路图如图1所示。

附表　制作所需的材料

名称	数量
曲别针	6枚
微型电机	1只
2200μF电解电容	3只
NPN三极管	1只
PNP三极管	1只
2.2kΩ电阻	1只
闪光LED	1只
导线	若干
电压4V以上、电流10mA以上的小型太阳能电池板	1片
洞洞板	1片
焊锡丝	若干

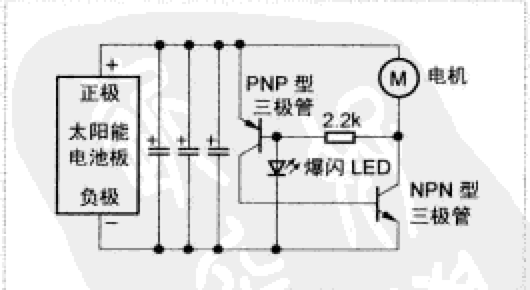


图1　太阳能陀螺机器人电路图

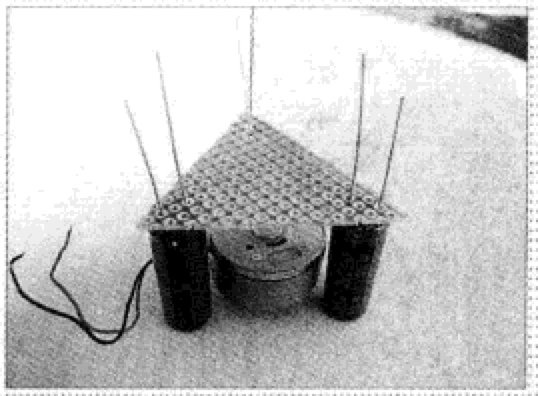


图2 在剪切成等边三角形的洞洞板上放置3只电解电容和微型电机

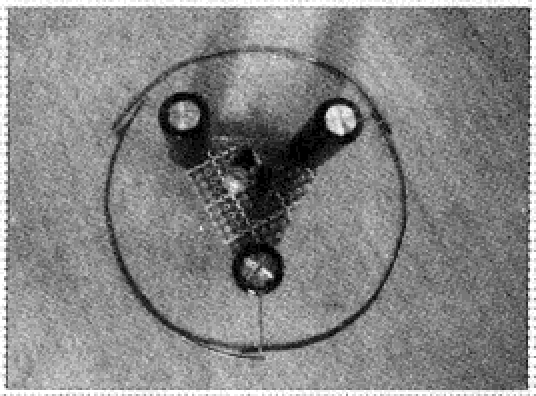


图3 将3根曲别针弯成一个圆型外框，与3只电解电容的负极焊接在一起

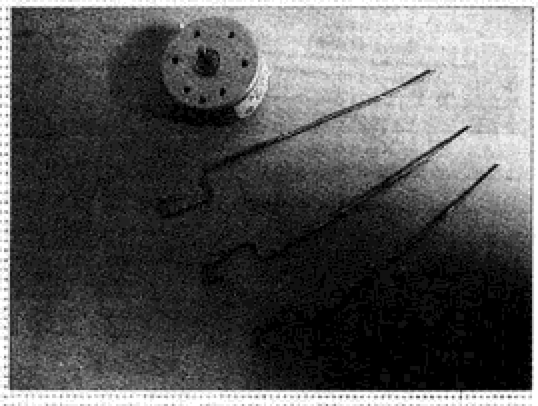


图4 将3根曲别针弯成3个固定电机的框架

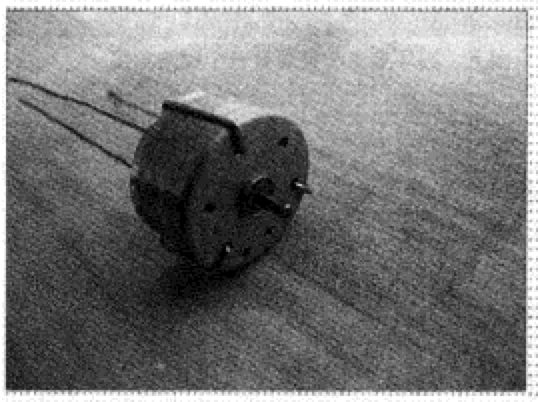


图5 框架前端卡入电机螺丝孔里

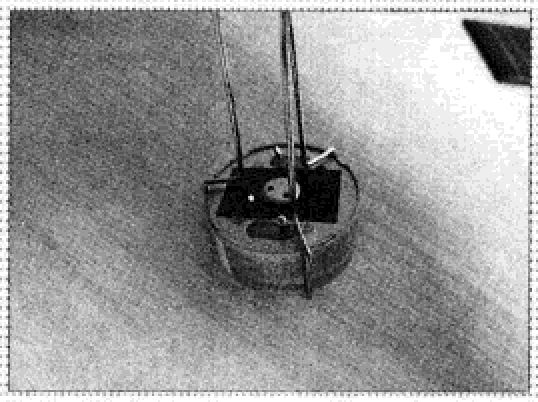


图6 把电机包在框架里

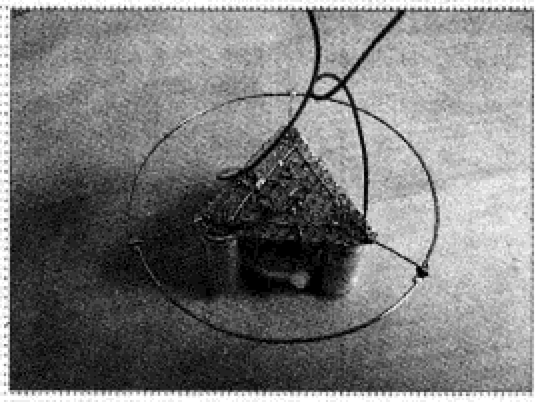


图7 利用电机框架把电机和电容电路板结合到一起

这是一个经典的BEAM机器人太阳能引擎，网上可以找到很多相关资料，这里不再赘述。特别值得一提的是，这个太阳能引擎具有类似神经元的特性：实体化以后的装置是一个基于随机振荡器的阈值设备，电路有一个触发电压的上限阈值和关闭电压的下限阈值，触发和关闭的周期直接受电机负载的影响。在关闭状态下，电路又受太阳能电池板所接收到的环境光线的影响。它与环境是一种动态方式的衰变关系。

现在，我们开始制作太阳能陀螺的机械部分。机器人不同于纯电子线路，它是一个电子和机械的结合体。机械部分的制作比较考验手工和空间想象能力，这部分是最有趣的。我们的制作目标是在满足功能的基础上兼顾美观。用上述的材料，发动你的头脑，拼出一只独一无二的机器人骨架吧。

第一步：把洞洞板剪切成一片等边三角形。要求三角形的外切圆里可以放得下3只2200μF的电解电容和微型电机，放置在中心的电机和外面包围的3只电解电容之间要有一定距离，如图2所示。

把3根曲别针拉直，首尾衔接弯成一个圆形外框。圆环内放置储能电解电容、电机和电子部分，太阳能电池安置在三角形洞洞板上。这个圆环有3个作用：第一是作为3只储能电解电容负极的汇流母线，第二是保护环内的电子核心，第三是利用碰撞造成的重心变化改变机器人的运动方向。

第二步：在洞洞板上焊接电子部分，3只电解电容的负极，向外辐射延伸出来，与前面提到的圆环焊接在一起，如图3所示。

用余下的3根曲别针，弯成3个固定电机的框架，把电机包在架子里。注意，曲别针卡入电机螺丝孔里的那一端不要留太长，否则会阻碍电机转子的运转。如图4、图5、图6所示。

剩下的工作是最后的总装。用胶条或者尼龙扎带固定好包围电机外框的曲别针，利用这3根曲别针，把电机和电容电路板结合到一起。这里可以不管电机的极性，因为只是正转、反转的区别。注意，电机轴和电容顶部不在一条水平线上，把制好的骨架平放在桌面上，圆环应该和桌面有一个倾斜角度，除了电机主轴，还有两只电容着地。这样，电路触发电机启动的时候，机器人是做弧形运动的。当圆环在运动的方向上碰到障碍物时，机器人倾斜的方向就会改变，着地的电容就会改变，弧形运动的方向就跟着改变了。仓门电机的轴比较细，可以用电线剥下的塑料外皮套在轴上，增加和地面的摩擦力。在每只电容

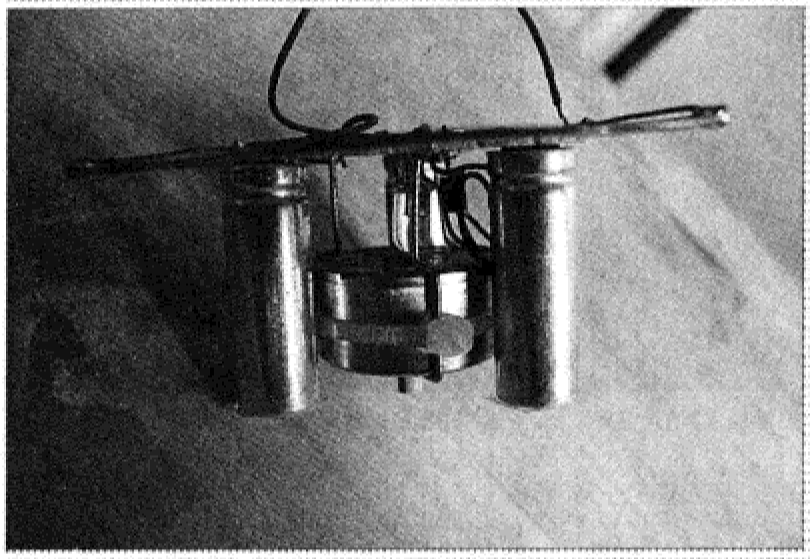


图8 注意电机轴和电容顶部不在一条水平线上

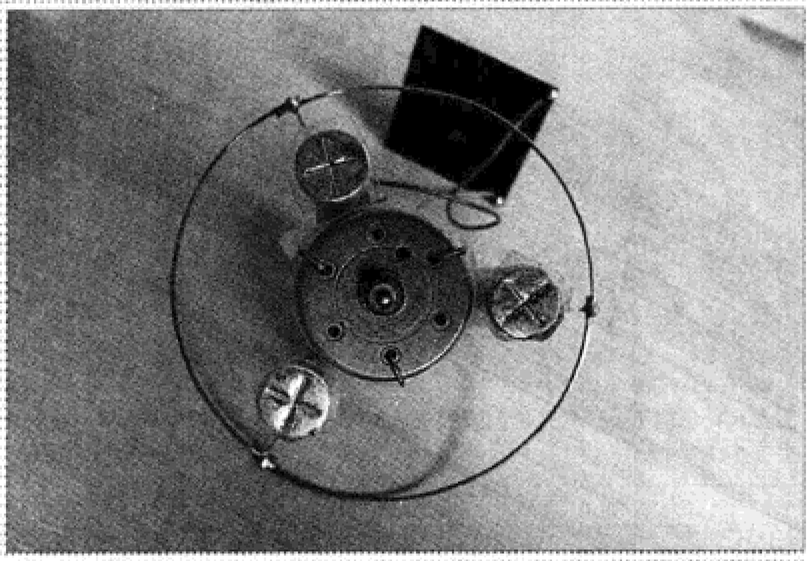


图9 把制好的骨架平放在桌面上，圆环应该和桌面有一个倾斜角度

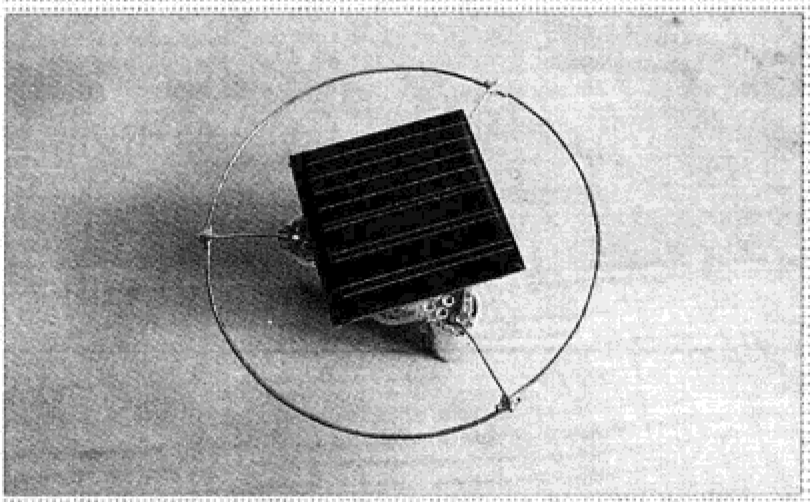


图10 总装后的太阳能陀螺机器人

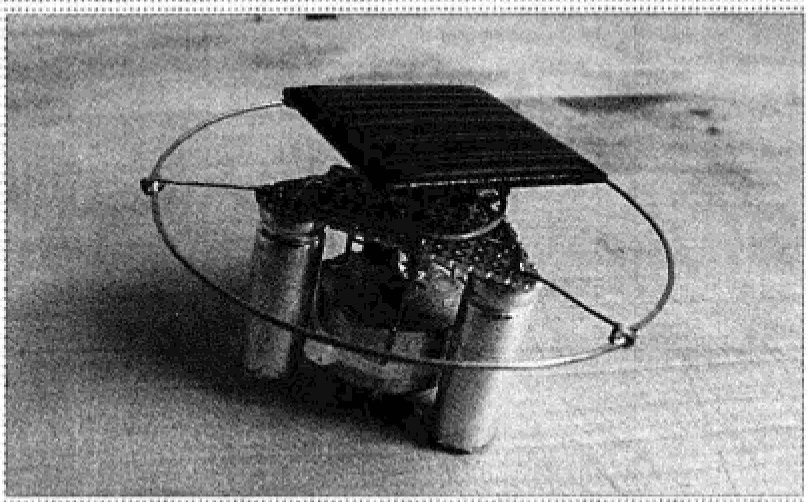


图11 除了电机主轴，还有两只电容着地，另外一只电容不着地

顶部接触地面的地方，用双面胶贴上一个塑料片，可以起到保护电容和减少运动阻力的作用。

具体制作方法见图7、图8、图9。

图10、图11所示是制作完成的样子。为了让这只机器人看起来更像一台机器，我去除了3只电解电容外面的塑料皮，让它们变得银光闪闪的，很养眼。

调整技巧

电路和骨架装配完毕以后，我们可以在阳光下测试一下。正常的情况是，机器人上的LED闪动几下以后，电机带动整个骨架旋转。以下是几个可能出现的问题和解决办法。

Q 电机转一下就停止，电路不再触发。

A 电机灵敏度太高，尝试在电机两端并联一个几十欧姆的电阻。

Q 电机不转，LED也不闪。

A 可能是太阳能电池板的电压太低或者接线错误。

Q LED常亮，不闪，电路不触发。

A 尝试用不透明胶布或热缩管包裹LED。

Q 电机嘶嘶响，但是不转。

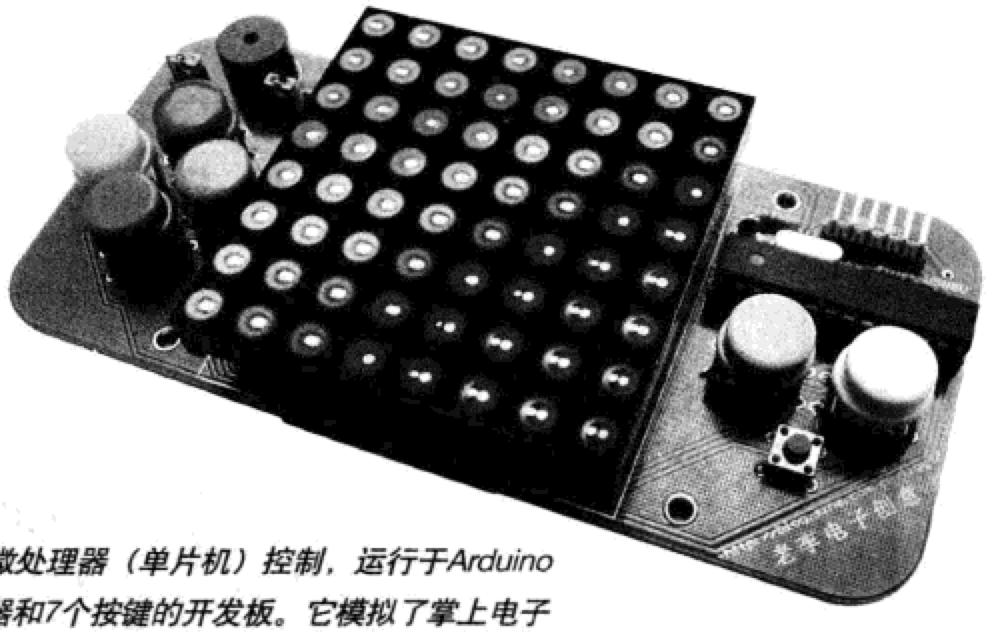
A 可能是储能电容容量过大，尝试减小储能电容的容量。经过我的实验，耐压高、体积大的储能电容用在这个机器人上效果最好。

如果你的太阳能板和电容都比较大，3根曲别针圈不下它，那么可以增加曲别针的数量，把外框制成六边形或者八边形。圆环的材料也不一定就是曲别针，其他外观好看、焊接方便的材料都可以选用。也可以用蝶形金属片、硬盘片来做外框。

DIY基于Arduino的简易掌上游戏机

创意涂鸦板

◎李光宇　李博



创意涂鸦板是一个使用ATmega328P-PU微处理器（单片机）控制，运行于Arduino环境，具有8×8 RGB LED点阵显示器、蜂鸣器和7个按键的开发板。它模拟了掌上电子游戏机的原理，可以作为开发平台，创作出自己的游戏和其他互动程序。

创意涂鸦板是一款模拟了掌上电子游戏机硬件原理的开发板，用户可以通过按键改变画面和声音，进行人机互动。如果将它的屏幕扩大化、性能强化，就可以显示电子书，或做成图片、视频播放器。对于想了解数码产品的原理和设计方法的人来说非常有意义。

创意涂鸦板采用性能优异的ATmega328P-PU微处理器（单片机）控制，开发环境基于Arduino。Arduino有丰富的网上资源、技术论坛和在线指南，可以帮你编写出自己想要的游戏和互动程序。作者特别为创意涂鸦板编写了定制版本的Arduino集成开发环境，其中包含一些程序例子、彩色动画、经典游戏、编程指南和其他应用程序，在http://www.ligy47.com 上免费提供下载。初学者可以下载已有的程序来直接应用，也可以通过修改程序逐步入门，最终发挥创意、任意涂鸦，编写自己的游戏或者其他应用程序。根据“开源”的精神，欢迎大家发布自己在创意涂鸦板上编写的各种程序，与爱好者们共享。

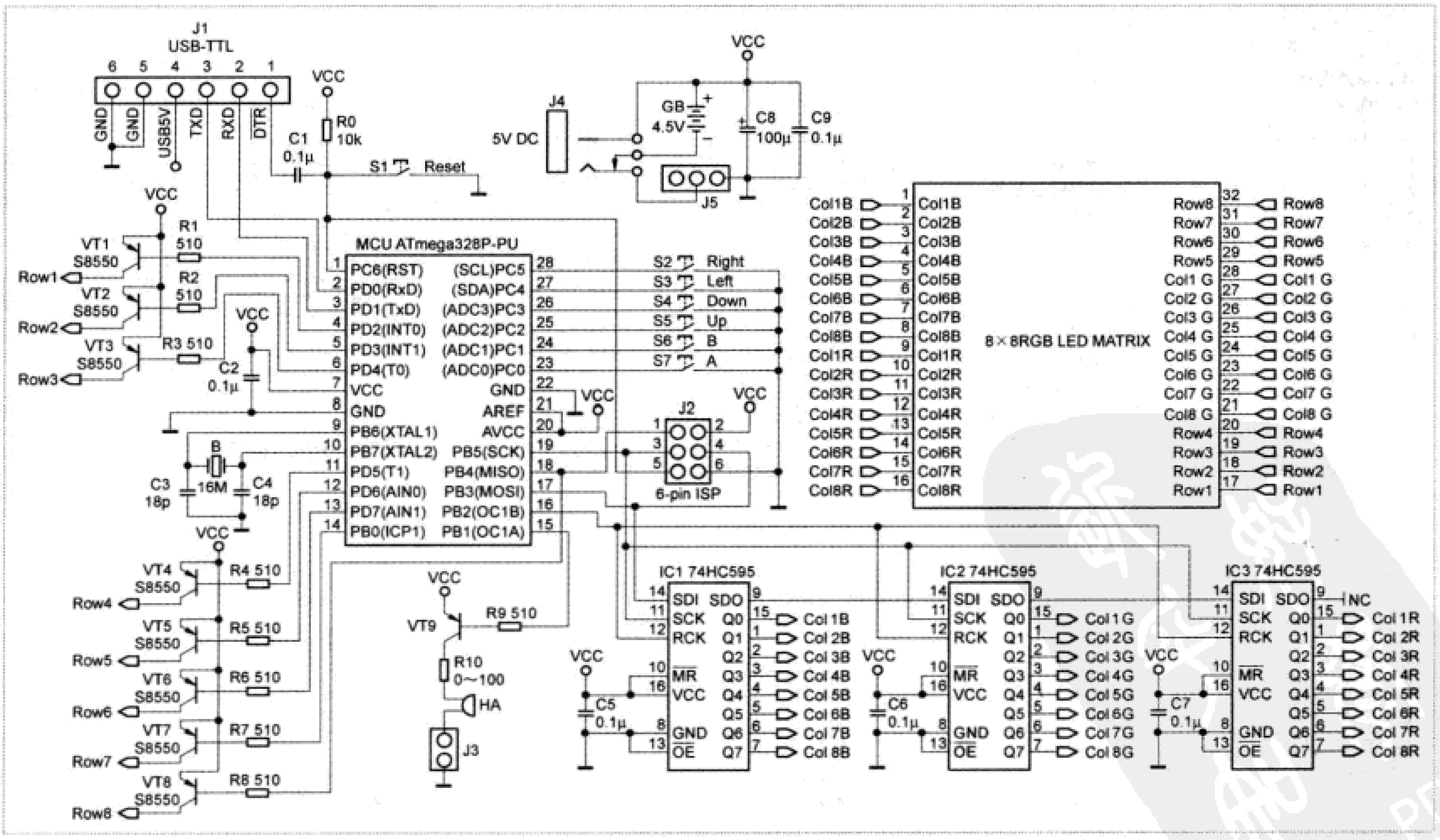


图1 电路原理图

电路原理详解

创意涂鸦板的电路如图1所示，实际制作所用到的实物如图2和表1所示。下面我们结合电路图将所使用的元器件和电路原理作详细介绍。

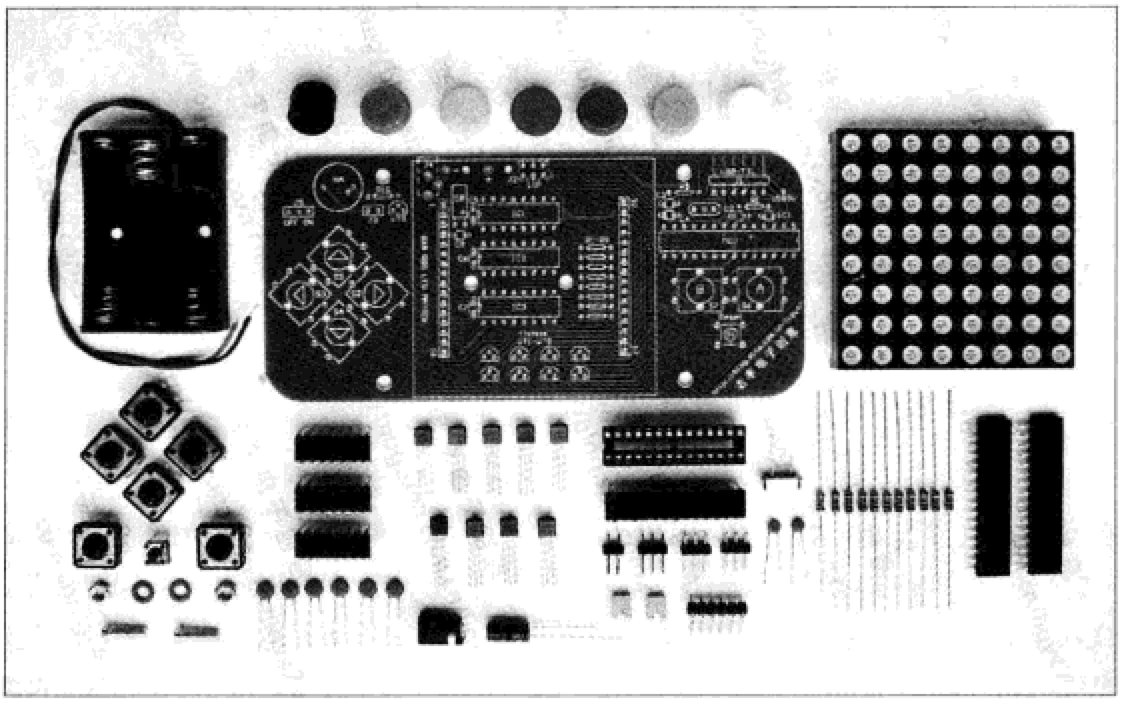


图2 创意涂鸦板用到的元器件和零配件

表1 创意涂鸦板元器件和零部件表

名称或标注	规格或类型	参数	数量
双面印制电路板	Li RGB	137mm X 63.5mm	1
LED点阵显示器	RGB全彩	8 X 8、ϕ5mm，192个LED	1
LED点阵显示器插座	单排插座	16孔，间距2.54mm	2
MCU微处理器	ATmega328P - PU	28脚DIP	1
MCU插座	窄体	28脚DIP	1
IC1～IC3集成电路	74HC595	16脚DIP	3
B	晶体振荡器	16MHz	1
VT1～VT9	PNP型晶体三极管	S8550	9
R0	1/4W电阻	10kΩ	1
R1～R9	1/4W电阻	510Ω	9
R10	1/4W电阻	0～100Ω	1
C1、C2、C5、C6、C7、C9	瓷介质电容	0.1μF	6
C3、C4	瓷介质电容	18pF	2
C8	电解电容	100μF	1
J1	单排直角弯插针	6针，间距2.54mm	1
J2、J5	单排插针（跳线柱）	6针/3针，间距2.54mm	3
J3	单排插针（跳线柱）	2针，间距2.54mm	1
插针帽（跳线帽）		2孔，间距2.54mm	2
J4	DC-002直流电源插座	外径ϕ3.5 mm内针ϕ1.1mm	1
S1	轻触微动按键开关（小）	6 mm X 6 mm X 5mm	1
S2～S7	轻触微动按键开关（方头）	12mm X 12 mm X 7.3mm	6
按键帽		红、黄、绿、蓝、灰、白	6
HA	无源电磁式蜂鸣器	ϕ12 mm X 8.2 mm	1
电池盒	3 X AAA	4.5V	1
螺丝钉	圆头或平头	M3 X 10mm	2
螺丝帽	六角形	M3mm	2
绝缘垫片	圆环形	外径ϕ6mm，内径ϕ3mm	2
USB下载电缆	内含转换芯片，4线输出	长度100cm	1
电源适配器	220V - 5V	USB输出接口	1
USB电源线	USB - ϕ3.5mm	长度100cm	1
电路图	纸质打印	A4	1
详细制作步骤指南	电子文档（PDF格式）	下载地址：www.ligy47.com	不限

1. 微处理器（MCU）

创意涂鸦板采用的微处理器型号是Atmega328P-PU，这是一种高性能、低功耗的AVR8位微处理器。它具有先进的RISC（精简指令集计算机）结构。大多数指令的执行时间为单个时钟周期。拥有32KB的系统内可编程闪存、1KB的EEPROM、2KB的片内SRAM。其中闪存的擦写寿命为10000次，EEPROM的擦写寿命为100000次。这么多的擦写次数足够你反复烧写程序。它的数据保存时间也很长，在85℃条件下，数据可以保存20年，在25℃条件下可以保存100年。通过片上Boot程序可以实现系统内编程。用户还可以对锁定位进行编程以实现程序的加密。

Atmega328P-PU的引脚配置如图3和表2所示。

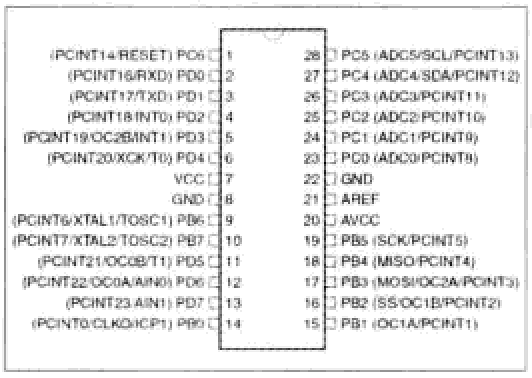


图3 Atmega328P-PU的引脚配置

2. RGB LED点阵显示器

RGB LED点阵显示器是创意涂鸦板中最为出彩的部分，因为最后的绚丽效果全靠它来淋漓尽致地表现。从表面看，创意涂鸦板采用的RGB点阵显示器有8行（ROW）×8列（COL），一共64个圆形的发光点，每个圆形发光点中封装有R、G、B发光二极管各一只，因此整块LED显示器拥有192个LED。

R、G、B是光的三基色（也称为三

表2 Atmega328P-PU的引脚说明

引脚	名称编号	用途
7	VCC	数字电路的电源
8	GND	地
14~19、9、10	端口B（PB0~PB7）	端口B为8位双向I/O口，具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性，可以输出和吸收大电流。端口B也可以用做其他不同的特殊功能，如图中括号所示
23~28、1	端口C（PC0~PC5、PC6/RESET）	端口C为7位双向I/O口，具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性，可以输出和吸收大电流。RSTDISBL位被编程时，可将PC6作为一个I/O口使用，RSTDISBL位未被编程时， PC6将作为复位输入引脚Reset。端口C 也可以用做其他不同的特殊功能，如图中括号所示
2~6、11~13	端口D（PD0~PD7）	端口D为8位双向I/O口，具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性，可以输出和吸收大电流。端口D也可以用做其他不同的特殊功能，如图中括号所示
20	AVCC	AVCC为A/D转换器的电源。不使用ADC时，该引脚应直接与VCC连接
21	AREF	AREF为ADC的模拟基准输入引脚

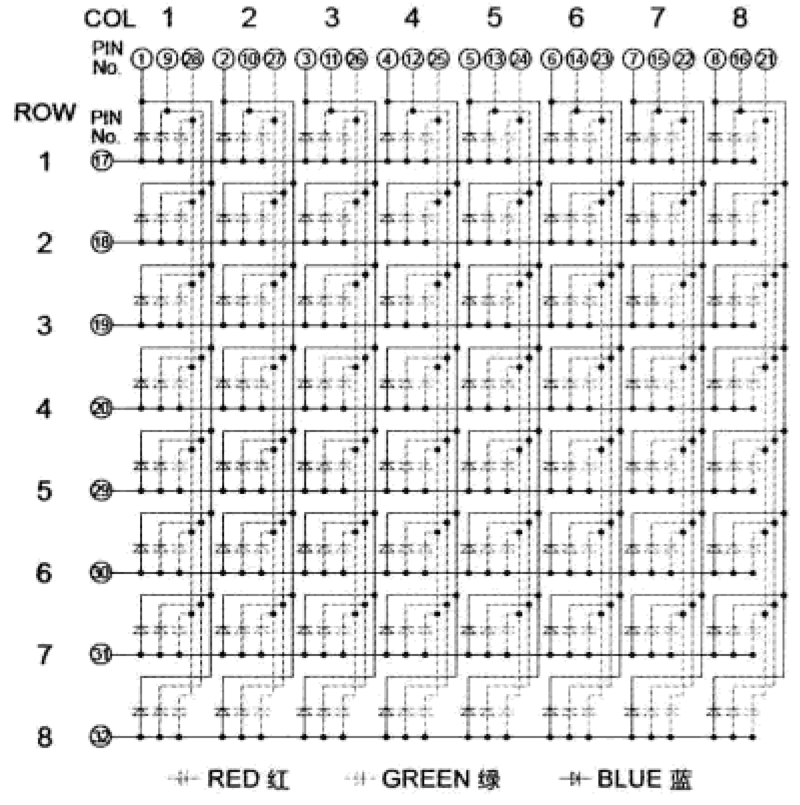


图4 RGB点阵显示器的内部电路

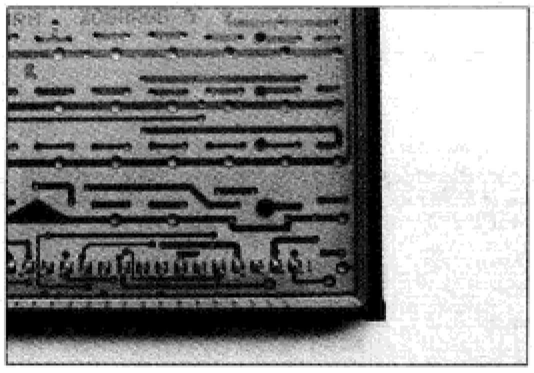


图5 点阵显示器的引脚识别

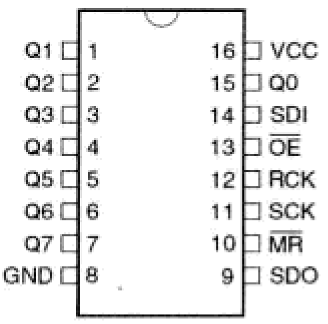


图6 74HC595的引脚配置

原色）的缩写，分别代表红色（Red）、绿色（Green）、蓝色（Blue）。乍一看，按照简单的组合，3 种基色光只能再合成另外 4 种色光，即红色＋绿色＝黄色、红色＋蓝色＝紫色、绿色＋蓝色＝青色、红色＋绿色＋蓝色＝白色，但是如果我们将三基色光分别赋予不同的亮度值，就可以大大增加合成的色光种类。例如，红色与绿色可以合成黄色，如果我们增加红色的亮度，或者减小绿色的亮度，这时合成的黄色就会偏红，即合成橙色。在创意涂鸦板的开发环境中，我们将 R、G、B 分别定义了 16 级亮度，这样一来，就可以合成产生 16×16×16 = 4096 种颜色的光。

创意涂鸦板采用的是一种共阳结构的LED点阵显示器，内部分别将每一行的24个LED的阳极（正极）连接在一起，引出8根行引脚（引脚17、18、19、20、29、30、31、32）。另外分别将每一列相同颜色的LED的阴极（负极）连接在一起，引出24根列引脚，如图4所示。

将点阵显示器的反面（引脚面）朝上，旁边有标记“1”的是引脚 1。以引脚 1 为起点，按照顺时针方向排列，引脚编号依次为 2、3、4…32，如图 5 所示。

3. LED行扫描与显示电路

一块8×8 RGB点阵显示器共有32个引脚，其中行有8个引脚，列有24个引脚（R、G、B各8列），将这么多的引脚逐一连接到单片机的I/O口上，既浪费又不现实，因此我们采用动态扫描方式进行控

表3 74HC595的引脚说明

引脚	名称	用途
15、1~7	Q0~Q7	并行输出
8	GND	地
9	SDO	数据输出
10	$\overline{MR}$	清除端
11	SCK	寄存器的时钟输入端
12	RCK	锁存器的时钟输入端
13	$\overline{OE}$	输出允许控制
14	SDI	数据输入
16	VCC	电源

制显示。

行扫描信号由Atmega328P-PU的8个I/O口输出，通过8个PNP型晶体管VT1～VT8驱动，轮流对点阵显示器的8条行线进行扫描，不断循环，实现行扫描。

R、G、B显示数据一共有3×8列=24列，它们是通过3片74HC595集成电路输送到点阵显示器的各个列上的。

74HC595是8位串行输入、串行或者并行输出移位寄存器和8位三态输出锁存器，引脚配置见图6和表3。它可以将串行的数据，转为并行的输出。它的并行输出端具有输出锁存功能。而且通过前一个芯片的SDO引脚和下一个芯片的SDI引脚，可以实现级联。74HC595与单片机的连接简单方便，在“创意涂鸦板”项目设计中，传送和控制显示数据只需占用单片机的3个I/O口。

74HC595的寄存器和锁存器分别有各自的时钟输入端（SCK和RCK），都是上升沿有效。当寄存器移位时钟SCK(11脚)从低电平到高电平跳变时，串行输入数据从SDI(14脚)移入寄存器。当锁存时钟RCK(12脚)从低电平到高电平跳变时，寄存器的数据置入锁存器。清除端（$\overline{MR}$）的低电平只对寄存器复位，对锁存器无影响。当输出允许控制（$\overline{OE}$）为高电平时，并行输出（Q0～Q7）为高阻态，串行输出不受影响。我们将$\overline{MR}$直接连接到高电平，用软件来实现寄存器清零，将$\overline{OE}$直接连接到低电平，使输出始终有效。

为了传送R、G、B的显示数据，我们把3片74HC595级联起来：第1片的SDO和第2片的SDI相接，第2片的SDO与第3片的SDI相接。另外，把3片74HC595的SCK（11脚，移位）连接在一起，接到MCU的PB5（19脚）。把3片74HC595的RCK（12脚，锁存）连接在一起，接到MCU的PB2（16脚）。显示数据从MCU的PB3（17脚）输送到第1片74HC595的SDI（14脚）。

在每个SCK的上升沿，SDI上的数据移入寄存器。送数据时，先送R的显示码，然后送G的显示码，最后送B 的显示码。当24个显示数据输送完毕后，MCU输出一个锁存信号（给RCK一个上升沿）。寄存器中的数据即置入锁存器。由于$\overline{OE}$连接到低电平，数据即可从3片74HC595的并行输出口Q0～Q7输出。第1片的Q0～Q7输出的是B（蓝色）的显示数据。第2片的Q0～Q7输出的是G（绿色）的显示数据，第3片的Q0～Q7输出的是R（红色）的显示数据。

4. USB-TTL接口

USB-TTL接口J1是数据的下载和上传接口，用配套的USB-TTL电缆（内含USB转串口芯片PL2303），可以把编译好的程序从电脑上传到创意涂鸦板的MCU中，也可以通过它与电脑通信，在线修改、上传、下载程序，让你彻底摆脱拔插芯片的烦恼。

J1采用6Pin的直角弯插针，安装在电路板的右上角，从右到左的引脚分别是$\overline{DTR}$、RXD、TXD、USB5V、GND、GND，如图7和表4所示。

5. ISP_6Pin接口

ISP_6Pin是ATMEL公司指定的AVR单片机标准接口，引脚定义与连接关系如图9和表5所示。

在必要时，可以借助外部编程器，通过这个ISP标准接口来为微处理器烧写Bootload，烧写的具体方法不在本文讨论之列。

6. 按键电路

创意涂鸦板一共配置了7个按键，分别使用微处理器的PC0~PC6口来检测按键状态。

方向键Up（上）、Down（下）、Left（左）、Right（右）以及功能键A、B采用了6个大型的轻触微动按键开关，配

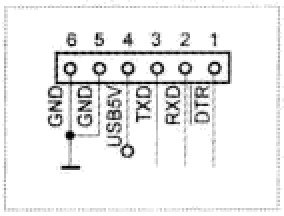


图7 USB-TTL接口

表4 USB－TTL接口定义与连接关系表

名称	USB_TTL接口引脚	AVR微处理器引脚
$\overline{DTR}$	1	1
RXD	2	3
TXD	3	2
USB5V	4	-
GND	5	8
GND	6	8

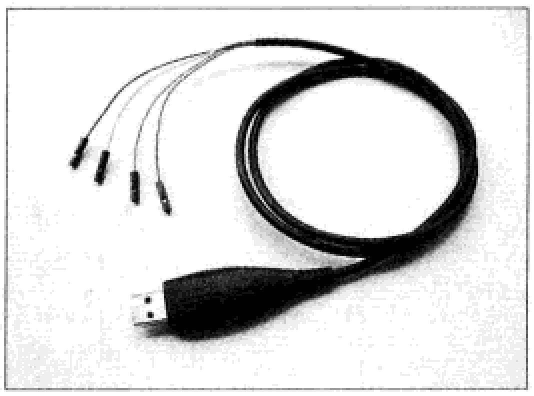


图8 USB-TTL电缆

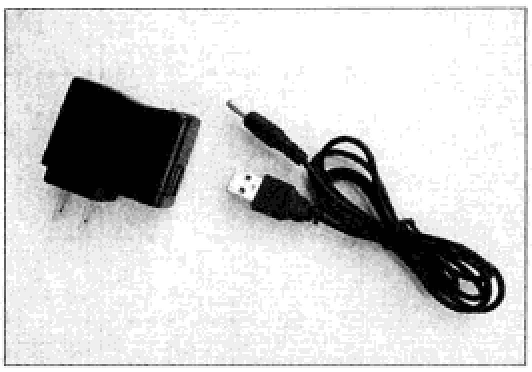


图10 电源适配器和USB电源线

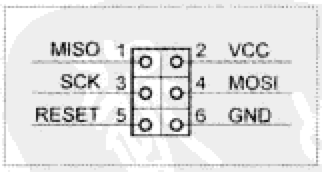


图9 ISP_6Pin标准接口

表5 ISP_6Pin标准接口定义与连接关系表

名称	ISP_6Pin接口引脚	AVR微处理器引脚
MISO	1	18
VCC	2	7
SCK	3	19
MOSI	4	17
RESET	5	1
GND	6	8

以色彩各异的按键帽，操控舒适可靠，充分体现了人性化设计的理念。Reset键并不常用，选用的是小型的轻触微动按键开关。

7. 发声电路

为了烘托游戏气氛并播放音乐，创意涂鸦板配置了发声电路。应用程序产生的声音信号从微处理器的一个数字式I/O口（Pin15）输出，经过晶体管VT9放大后，驱动一只无源电磁式蜂鸣器发出声音。

在蜂鸣器回路中串联了一个电阻器R10，电阻值可以是0Ω～100Ω。电阻值越大，蜂鸣器的声音越小。如果你喜欢比较大的声音效果，可以用0Ω的电阻器，这也是本套件默认使用的电阻值。

为了避免声音招来室友的抱怨、同事的白眼、老板的不悦，创意涂鸦板上加了一个简单的声音开关J3，以便随时关闭声音。这个声音开关是一套跳线柱和跳线帽，只要拔掉跳线帽，声音就消失得无影无踪了。

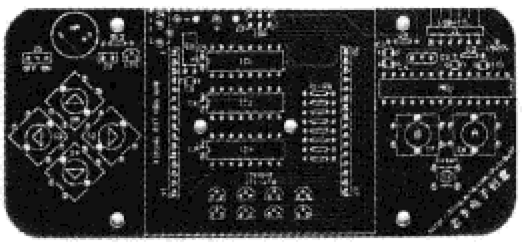
8. 电源电路

创意涂鸦板的供电有3种方式可选：一是采用电源适配器（交流220V转直流5V）和电源线（USB插头转DC电源插头），直接使用交流电供电；二是采用上述的USB－DC电源线，通过电脑的USB接口供电；三是在板上的电池盒中装入3节7号（AAA）电池，使用电池供电，便于随身携带使用。

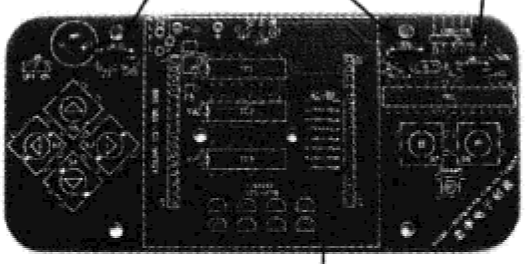
电源电路还采用了自动转换设计：当外部的电源插入时，自动断开板上的电池；而当拔除外部电源时，自动转换为板载电池供电。

制作步骤

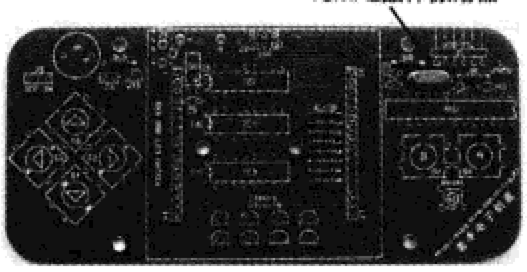
1 创意涂鸦板套件的双面印制电路板。



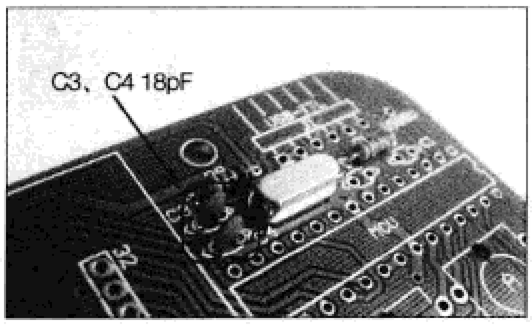
2 焊接全部电阻（注：R10可为0～100Ω，见前文介绍）。



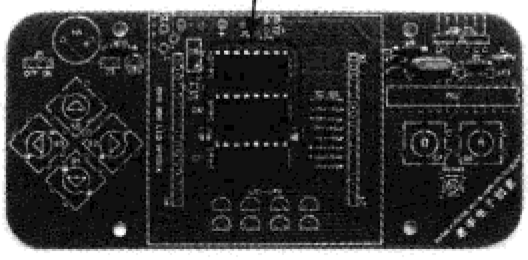
3 焊接16MHz晶体振荡器。



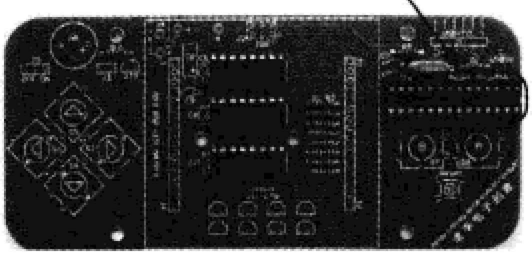
4 焊接2只18pF瓷介质电容。



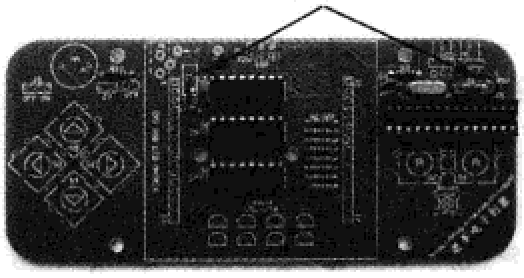
5 焊接集成电路IC1~IC3。



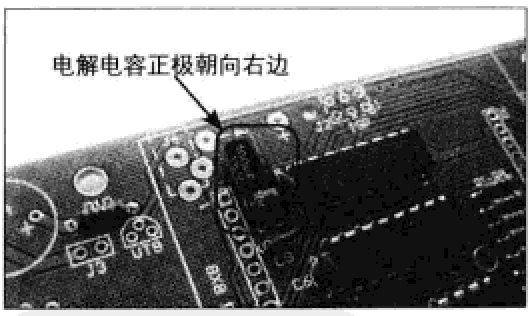
6 焊接单片机插座，注意将插座缺口朝向右边安装。



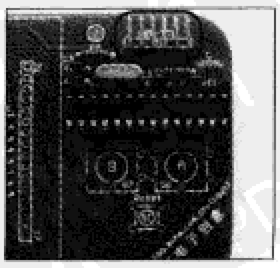
7 焊接6只104（0.1μF）瓷介质电容。



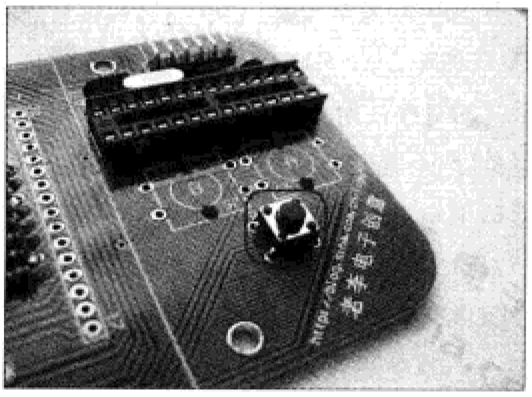
8 焊接电解电容，注意较长的一根引脚是正极，安装时把正极朝向右边。



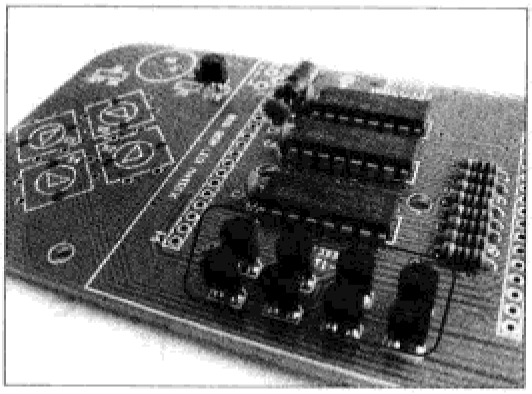
9 焊接USB-TTL接口。这个接口很重要，要下载程序以及与电脑互动，就要通过它了。这是一个6针的单排直角弯插针，较短的一端插入焊盘孔，在背面焊牢，长的一端朝外，不要弄错。



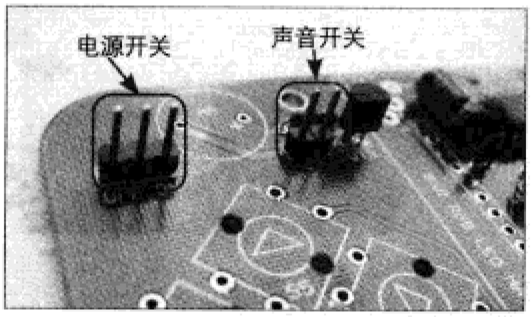
10 焊接Reset小型轻触微动按键开关。



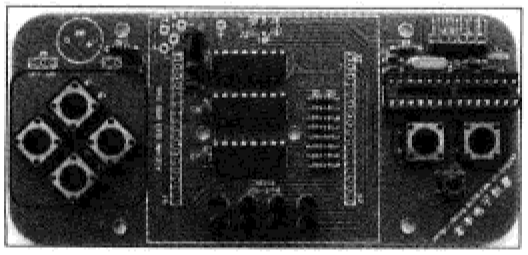
11 焊接9只晶体三极管，注意分辨3个引脚电极。当外壳的平面（打印有型号的一面）朝向前面时，左边引脚是发射极E，中间引脚是基极B，右边引脚是集电极C。



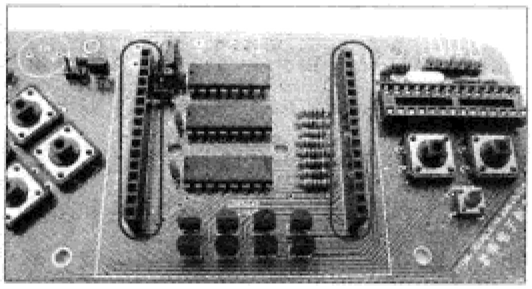
12 焊接两组跳线柱，其中3个一组的是电源开关，2个一组的是声音开关。



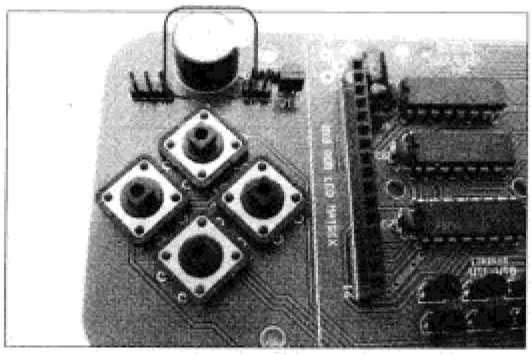
13 焊接6只大型轻触微动按键开关。



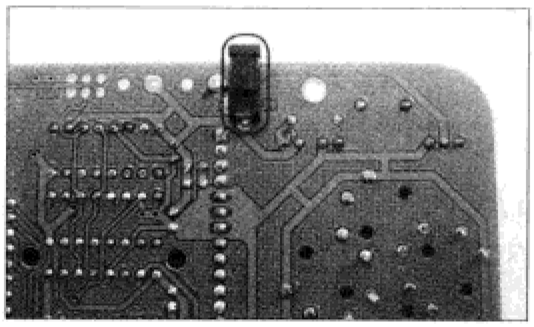
14 焊接2排16孔插座，这个插座用来做RGB LED点阵显示器的插座。注意在装配焊接时使它们与电路板保持垂直。



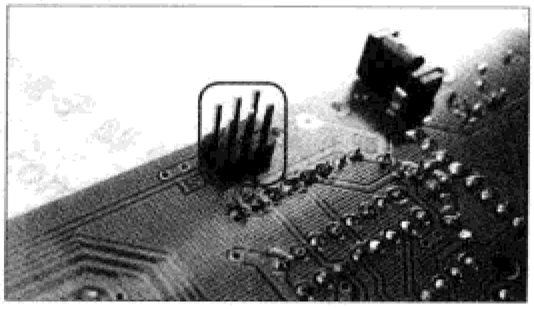
15 焊接无源蜂鸣器。



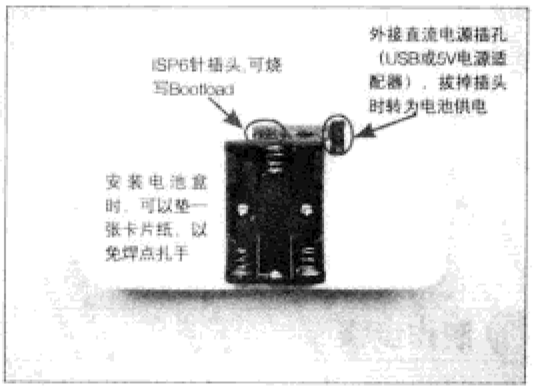
16 电路板正面的全部元器件安装焊接完毕（单片机、按键帽和RGB点阵块还没安装），接下来要在电路板背面继续焊接元器件。首先焊接外接直流电源插座。



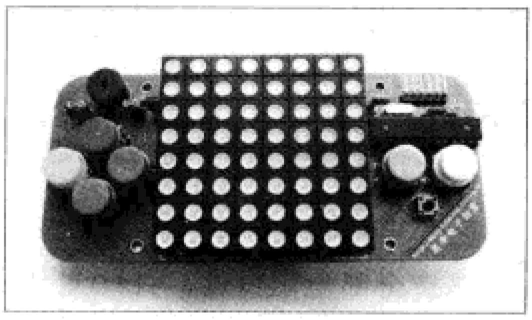
17 焊接ISP_6Pin接口。这个接口不常用，但在必要时可以用外部编程器来烧写Boot load。



18 焊接电池盒，安装时可以在电池盒和电路板之间垫一张卡片纸，以免使用时感觉焊点扎手。用配套的螺丝钉、螺丝帽和绝缘垫片把电池盒固定在电路板背面。在拧上螺丝帽之前，先套入绝缘垫片，以免螺丝帽接触到电路板正面的电路，造成短路。

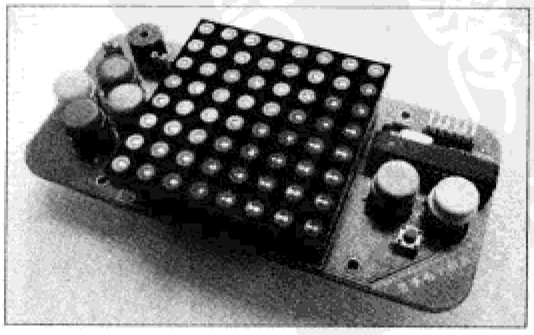


19 插上单片机、按键帽、点阵显示器，（Reset 小按键不常用，不安装按键帽）。



注意：插入时要使单片机的缺口标记朝向右边，与单片机插座上的缺口方向一致。LED点阵显示器的第1脚放在左上方，参看电路板上印制的字符。

20 全部安装焊接完成后，接通电源，创意涂鸦板就会自动运行MCU中预存的内容。



软件的安装和使用

如果要下载其他的游戏或程序，请在电路板右上角的USB-TTL接口插好套件配送的专用电缆。程序下载完成后，创意涂鸦板会立即运行新下载的程序。

作者特别为“创意涂鸦板”编写了定制版本的Arduino集成开发环境LiRGB-Arduino，可以在 http://www.ligy47.com 免费下载，文件名为LiRGB.rar。这是一个压缩文件，其中包括定制版本的Arduino集成开发环境LiRGB-Arduino、USB-TTL电缆的驱动程序以及为创意涂鸦板编写的例子程序、测试程序、彩色动画、游戏、音乐、指南等等。

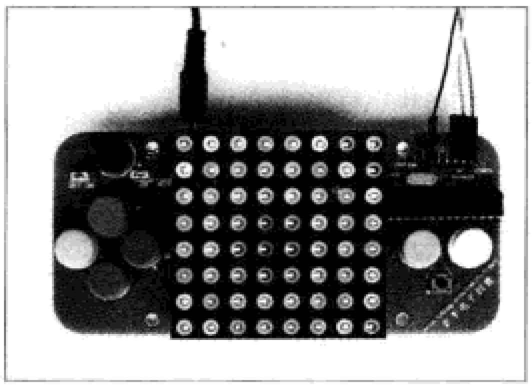


图11 用下载电缆下载程序

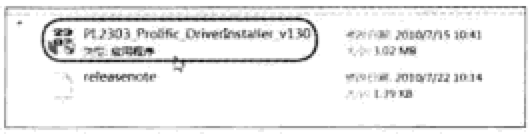
下载和安装Arduino开发环境

软件部分的操作包括下载集成开发环境的压缩文件、解开压缩文件和安装驱动程序等内容，下面一步一步详细介绍。

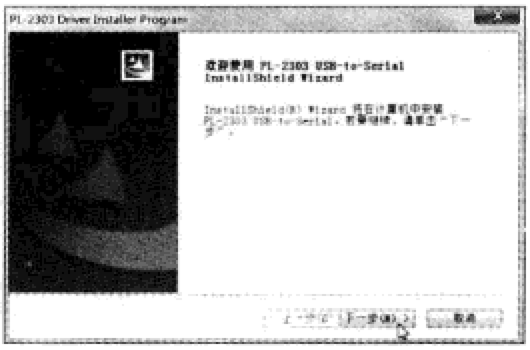
1 从http://www.radio.com.cn或http://www.ligy47.com的下载页面下载定制版本的Arduino开发环境，目前的最新版本是0022。

2 下载结束后，将压缩文件解压到你指定的硬盘和目录中。

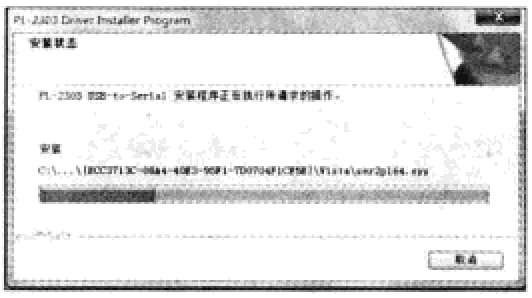
3 驱动程序在解压后的“LiRGB-0022\drivers\PL2303 Drivers”子文件夹内，打开这个子文件夹，双击其中的.exe文件。



4 这时将有如图所示的安装向导欢迎界面出现，现在我们开始程序安装过程，单击“下一步”。

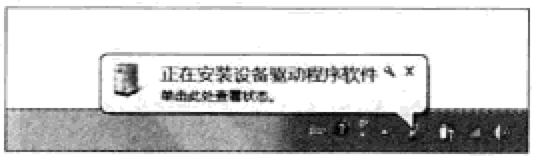


5 安装程序会自动执行安装操作过程。

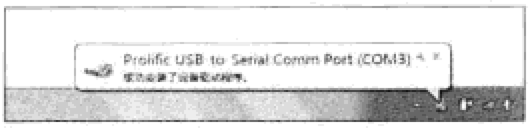


6 安装过程很快结束，跳出成功安装的页面，单击“完成”以退出向导。

7 驱动程序安装完成后，在电脑的任意一个USB接口插入USB-TTL电缆，电脑屏幕下端的状态栏会出现发现新硬件的相关信息。



8 稍后将有下列信息出现，表示硬件驱动程序已安装并可以使用了。



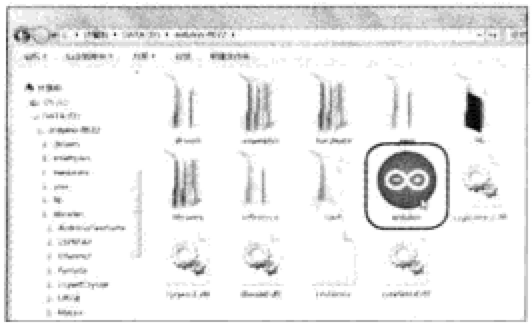
查看端口号

1 现在我们要查看一下我们所使用的端口号。依次单击“开始”→“控制面板”→“性能和维护”→“系统”，打开系统属性，然后点击“硬件”标签，再单击“设备管理器”将它打开。在设备管理器中，单击“端口（COM和LPT）”前面的符号，将它展开。

2 展开后，可以看到Prolific USB-to-Serial Comm Port（COM3），表明我们目前使用的端口号是COM3。记住这个端口号，在使用USB-TTL电缆线时需要正确选择。

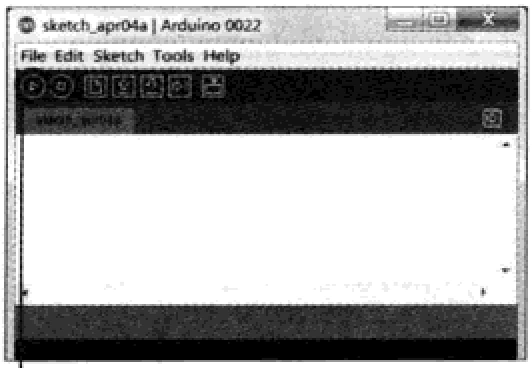
开始应用

1 在你解压文件时指定的硬盘和目录中，找到LiRGB.exe图标，双击它以便打开定制的Arduino开发环境软件LiRGB - Arduino。你可以为LiRGB.exe创建一个快捷方式，放到桌面上，以便查找。



2 第一次打开Arduino开发环境时，会出现如图所示的提示信息，直接单击“确定”按钮，Arduino将为你创建一个sketchbook文件夹，默认的位置是“我的文档\ Arduino”，以后你用“另存为”方式保存的程序都将存储在这里。

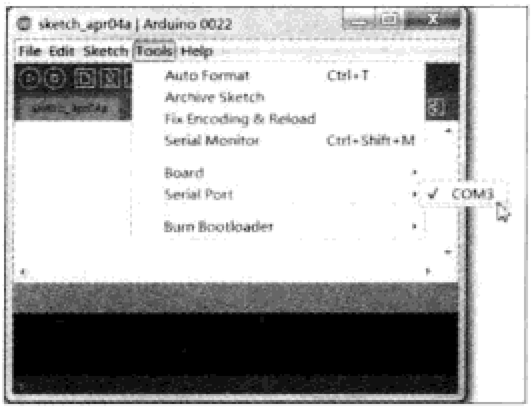
3 现在我们看到了打开的LiRGB - Arduino开发环境界面。在界面窗口中，上部是菜单栏，包括File、Edit、Sketch、Tools、Help。菜单栏下面是工具栏，包括了7个工具的按键，中间的大窗口为程序区，在这里可以编写程序，或者显示已有的例程。下部的状态栏是相关的信息显示区，编译、上载成功或者出错的信息都将在这里显示。



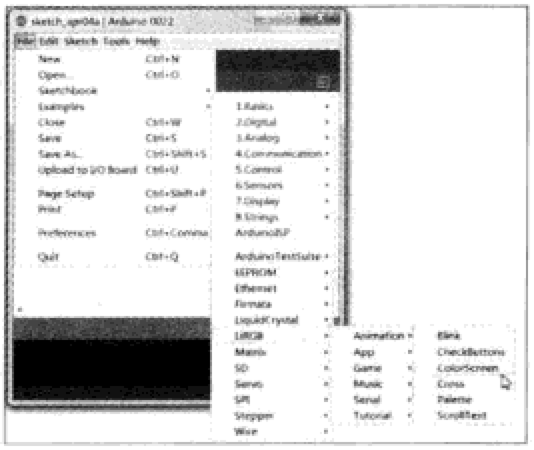
注： 如果你自己编写程序，在编写完成后，需要先将程序编译。方法是点击开发环境界面上方的“Verify（验证）”按钮，检查程序语法是否有错误。如果没有错误，稍后在信息区将出现“Done compiling”，表示程序无误，并且已完成编译。

4 进入Tools→Board 菜单，选择开发板的型号，创意涂鸦板选择Arduino Duemilanove or Nano w / ATmega328。

5 单点选Tools→Serial Port菜单，勾选正确的Serial Port编号（本例为COM3）。



6 点选File→Examples→LiRGB，在例程里面选择你想要使用的程序。在LiRGB的例程中，目前有Animation、App、Game、Music、Serial、Tutorial一共6个子文件夹，里面有各种例子程序，数量还将不断增加。



7 程序打开后，将出现在界面中部的程序窗口中。

8 将程序上载到单片机里，在开发环境界面上方单击“Upload”按钮，稍等一会，如果状态栏出现“Done uploading.”信息，那么恭喜你，程序已经上载成功。

9 上载完成后一会儿，创意涂鸦板就会自动开始运行新上载的程序。

套件销售

价格：289元/套 + 15元(邮费)

购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/。

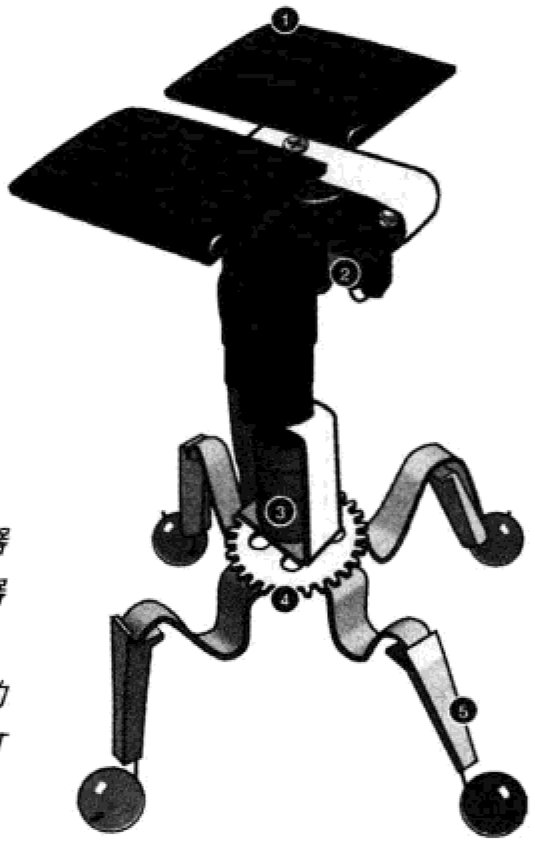
PVC-Robot 4号：光能风车

太阳能转动机器人

◎Plenilune

PVC-Robot系列是用PVC材料制造、贯彻“低成本、易制造”理念的机器人，本刊已经在2011年第2期和第4期中分别介绍了该系列的1号机——避障机器人和3号机——太阳能滑行机器人，本期将介绍4号机——太阳能转动机器人。

在PVC-Robot系列中，不少机器人是采用同样的电子电路进行行为控制的（即内在是一样的），但是外形和移动的方式却有较大不同。通过它们，我们可以了解更多DIY机器人的驱动方式，学习关于机械以及运动相关的知识。



机器人的结构

1. 太阳能电池板
2. 控制电路板
3. 电机
4. 齿轮和PVC材料组成的底座和支架
5. 扩展装备——“轮子鞋套”

PVC-Robot 4号——太阳能转动机器人可以看成一个“太阳能风车”，推动风车转动的能量是风能，而推动太阳能风车转动的能量却是太阳能。它采用的是与上期介绍的PVC-Robot 3号——太阳能滑行机器人一样的脉动充放电控制电路，运行的效果就是晒一会太阳充会电，然后转动一会，且阳光越强烈，转动速度越快，甚至可以近乎连续转动而没有停顿。而且这个时候会产生较大的震动，机器人整体也会发生移动。

■ 效果视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjQzODI4MDA4.html

基本原理

1. 驱动原理

太阳能转动机器人的驱动原理很简单，就是采用太阳能电池作为电源，驱动电机带动一个转轴进行转动。不过它也和通常的应用有点区别：一般的电机传动结构，电机是固定的，电机的轴是旋转的；而本项目的结构正好相反，电机的轴是固定的，电机本身却是旋转的。电机的轴固定在底座上，而电机和太阳能电池板、控制电路等都和电机绑定在一起可以转动，也就是说，除了一个固定的底座，其他部分都会跟着一起旋转。

2. 机械结构

“电机轴固定、而电机本身旋转”的机械结构，其实效率并不如“电机本身固定，而电机轴旋转”高，毕竟电机转动时除要负担实际的负载外，还要负担电机本身的重量，所以实际应用时一般不会采取这种方式。如果真的制作一台太阳能风车，合理的方式应该是尽可能地减少驱动的负载，除电机和控制电路等应该固定在底座不要跟着转动外，同时还应该考虑太阳能电池板的安装角度，尽可能对着太阳以充分获得太阳能。

本项目之所以采用这样的驱动方式，主要是为了增加趣味性的效果，同时也介绍一种新驱动方式来拓宽视野。此外，让电机本身也一起转动，可以增加转动时整体的动能，让转动时产生的震动更大。而底座接触地面的面积尽可能小一点，就可以在转动速度比较快的时候，让机器人也进行移动。而这个时候，本项目就不再仅是一个固定的太阳能风

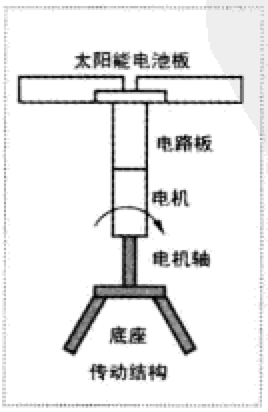


图1 驱动结构

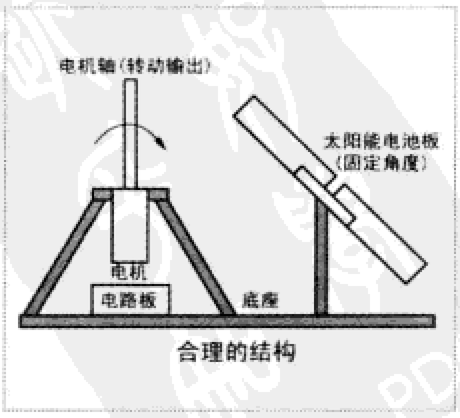


图2 太阳能风车的合理结构

失败的设计

转动和移动，鱼与熊掌不可兼得

为了让机器人移动的效果更加明显，就要增加转动时产生的震动。要产生更大的震动，除转动时带动更重的负载外，可以考虑采用偏心轮的结构，也就是把电机绑定的其他负载（太阳能电池板、电路板等）都装在电机的一侧，而不是与电机同轴的位置，如图3所示。

不过，如果采用偏心轮，会造成电机转动时的负载过大，在普通强度的阳光照射下，转动太慢。本项目早期的一个版本就采用了偏心轮结构，为了使太阳能风车在阳光不太强烈的情况下也能转动得比较顺，这种驱动结构就被淘汰了。

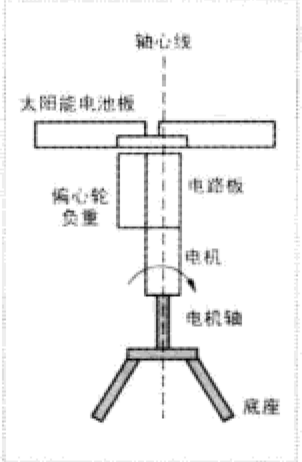


图3 被淘汰的采用偏心轮的驱动结构

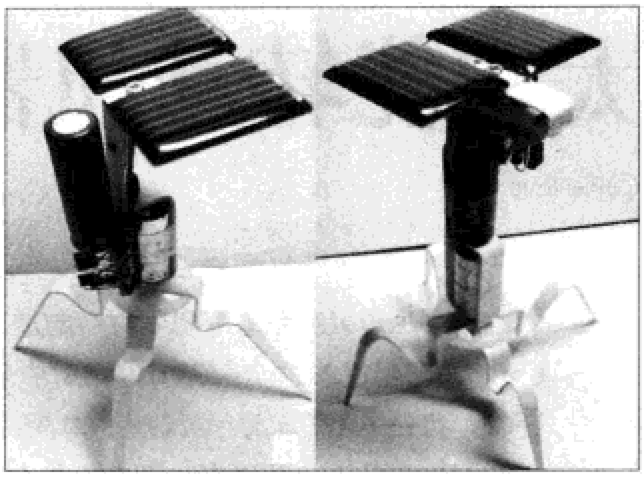


图4 新旧版本对比

车，而可以称得上是一个会移动的机器人了。当然，这个移动效果不太明显，效率也不高，只能应用在需要低速旋转移动的特定场合。

电路原理

本项目的电路与PVC-Robot 3号的电路是一摸一样的，上期已经进行了详细的分析，这里不再重复。

制作机器人的准备工作

本项目需要的器材主要包括：PVC线槽、小型电机、太阳能电池、电阻、电解电容、发光二极管、三极管、螺丝、螺帽等。主要的器材都可以从网上购买，表1中列出了主要器材的采购预算，由于有些器材采购时一般是批量的，而本项目中实际使用不了那么多（剩下的可以留在以后的其他项目上），所以另外加了一项成本折算，供大家参考。

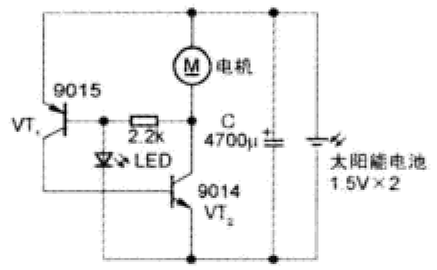


图5 太阳能转动机器人的电路图

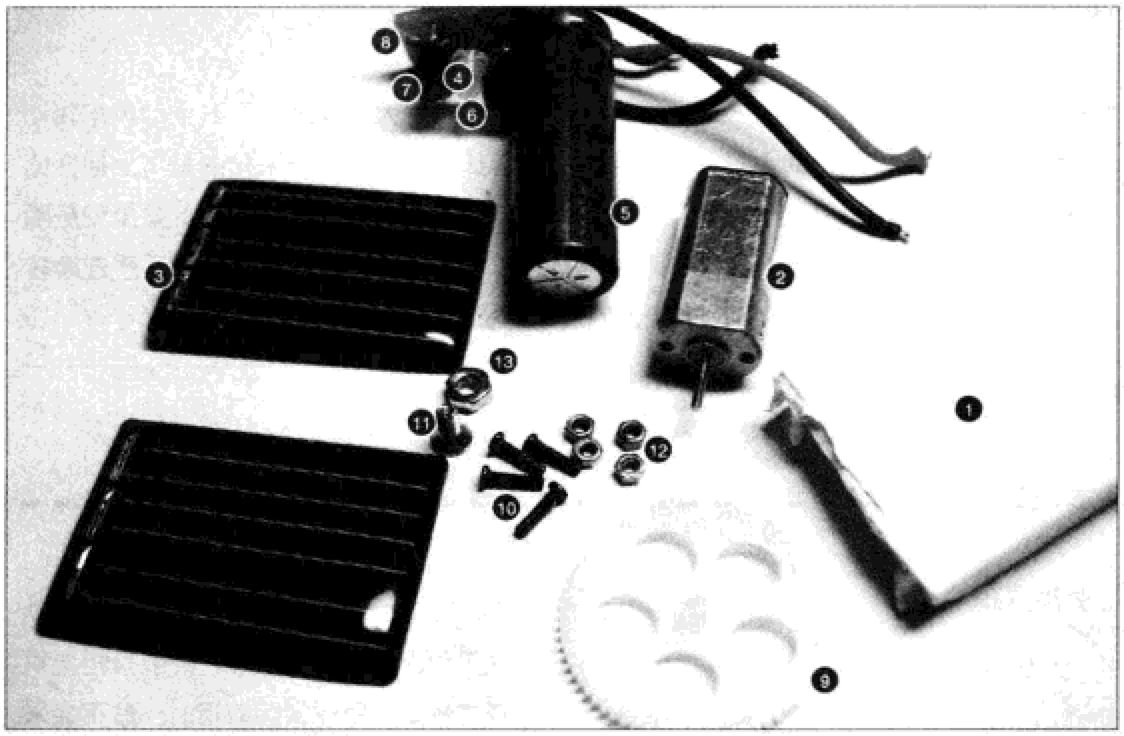


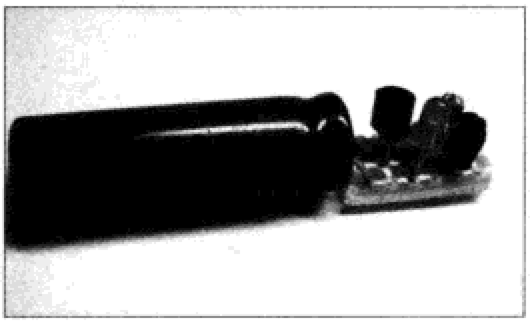
图6 制作太阳能转动机器人所需的材料

表1 制作所需的材料与成本

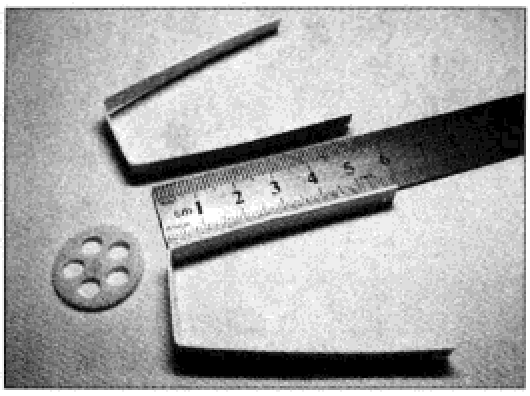
名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
1. PVC线槽	2.5cm宽度	1段	4元 / 0.5元	主要结构材料
2. 小电机	微型电机，轴径1mm	1个	3元	动力
3. 太阳能电池	1.5V	2片	2.2元	电源
4. 电阻	2.2kΩ	1个	8元 / 0.03元	电子元件
5. 电解电容	4700μF	1个	0.4元	电子元件
6. 发光二极管	红/黄/绿	1个	0.08元	电子元件
7. 三极管	9014、9015各1个	2个	4.5元 / 0.15元	电子元件
8. 电路板	电路板/实验板/万用板/洞洞板	1块	1.5元	
9. 齿轮	模数M0.3，70T	1个	2元	底座
10. M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	3颗	4元 / 0.12元	固定PVC材料
11. M2×6螺丝	直径2mm，长6mm，平头	1颗	2元 / 0.02元	固定PVC材料
12. M1.2螺母	孔径1.2mm	3个	15元 / 0.45元	固定PVC材料
13. M2螺母	孔径2mm	1颗	2元 / 0.02元	固定PVC材料
合计			48.68元 / 10.47元	

制作过程

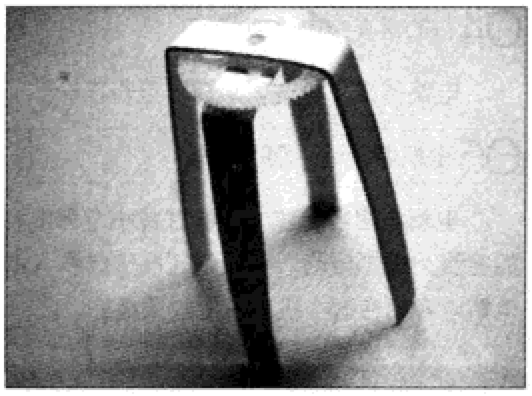
1 由于本项目的控制电路与上期介绍的PVC-Robot 3号是一样的，关于电路焊接的说明这里不再重复，如有需要，请参考上期。



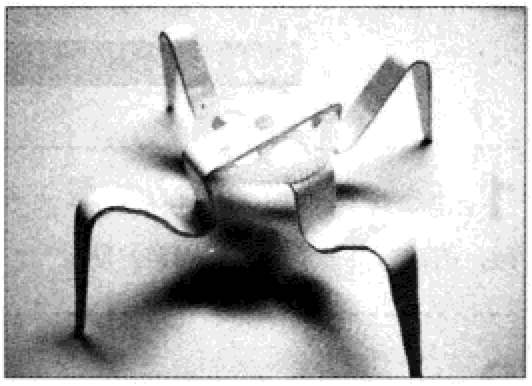
2 用剪刀把PVC线槽裁剪，并用尖嘴钳折成如图所示的尺寸和形状，即两组双足支架。



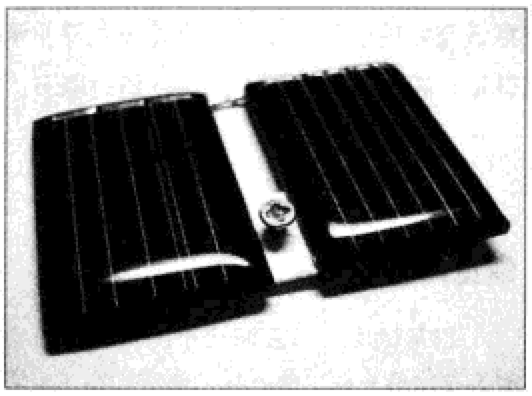
3 把两组支架叠在一起，中间用电钻或者锥子打一个孔，并把齿轮按下图所示装好。这里之所以用这个齿轮，一方面是因为这个齿轮的孔径是1mm，正好可以装上轴径为1mm的电机，另一方面，也可以比较方便地把底座的两组支架固定在一起。



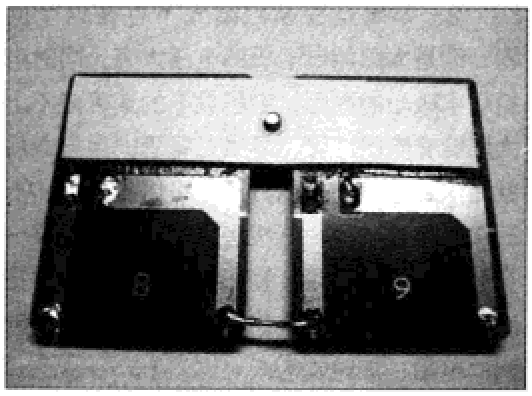
4 把两组支架用502胶水贴在齿轮上，把支架的前端剪小一点，然后用尖嘴钳折成如图所示的样子。



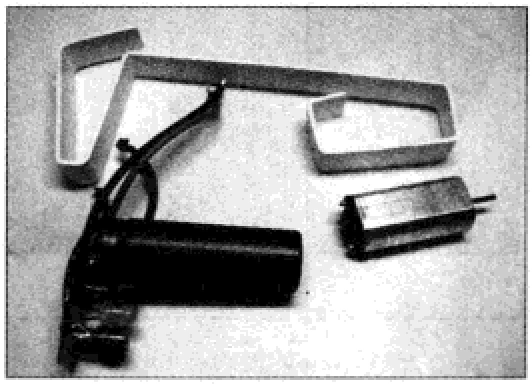
5 把两片太阳能电池板用双面胶布贴在一块PVC方条上，并且在方条中心打一个孔供M2×6mm的螺丝固定用。



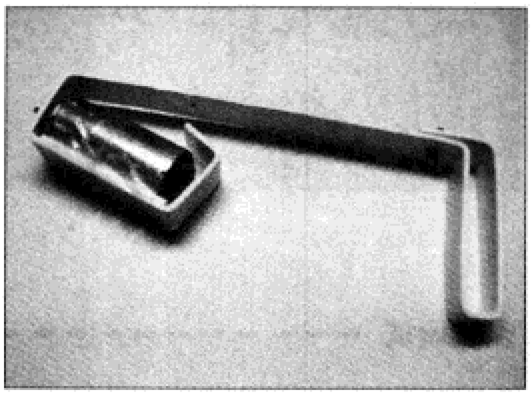
6 由于太阳能电池板的背面有电极，所以只能对没有电极的一端进行固定，同时用金属线把两片太阳能电池板的正、负电极焊接在一起，即把太阳能电池串联起来。



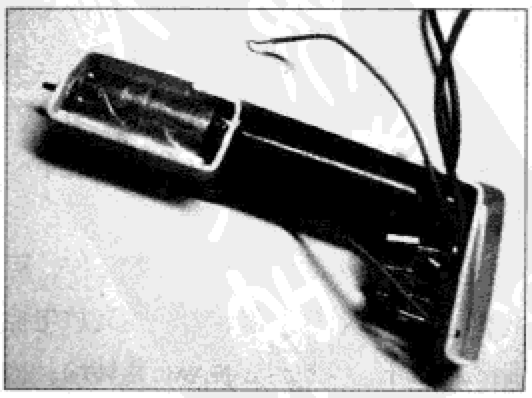
7 用PVC线槽剪一个长方条，对比电机的长度和电路板的尺寸，折成如图所示形状的支架。



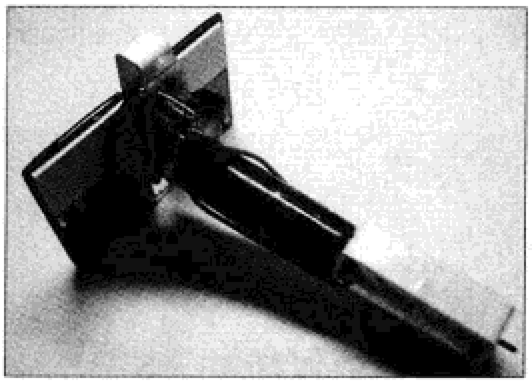
8 把电机用胶带固定在长方条支架上。注意电机的轴要穿过方条支架上的小孔，同时方条支架的另一端用M1.2×5mm螺丝固定好。



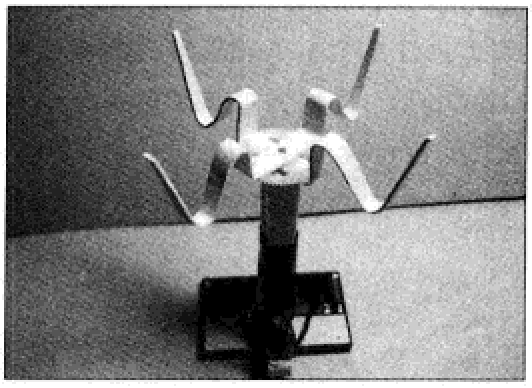
9 把电路板通过M1.2×5mm螺丝和M1.2螺母安装到支架上，因为电路板的重量主要在电解电容上，为了保证转动时摆动幅度不要太大，注意将电解电容与电机放在同一个中心轴上。



10 把太阳能电池板的固定方条用M2×6螺丝和M2螺母安装到支架上。



11 把电机的轴插入底座的齿轮的孔中，整体组装在一起。



整机调试

首先，调试机械结构。可以在没有阳光的情况下，即在电路没有接通的时候，把机器人放置在水平的桌面上（底座着地），然后用手拨动太阳能电池板，手动让转轴转动起来，看看转轴是否能够转动得比较平滑。一般情况下，手工拨动可以让转轴转动几圈，如果发现转轴比较卡、转动不平滑，可以检查太阳能电池板支架的中心是否正好在电机转轴的中心线上，或者检查电路板的电解电容的中心是否在电机转轴的中心线上。

然后，测试电路是否正常工作，可以在100W白炽灯下测试电路的充放电控制是否正常，电机是否能够正常转动。

增强移动效果的扩展装备——“轮子脚套”

如果想增强移动效果，可以把底座的4只脚都装上一个小轮子，这样转动时产生的震动就可以让机器人移动的幅度更大。

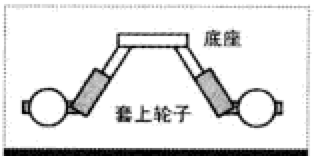
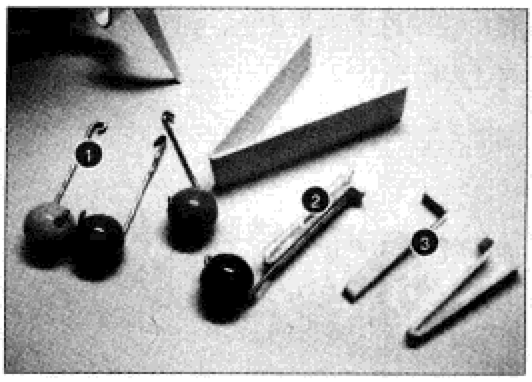


图7 扩展装备

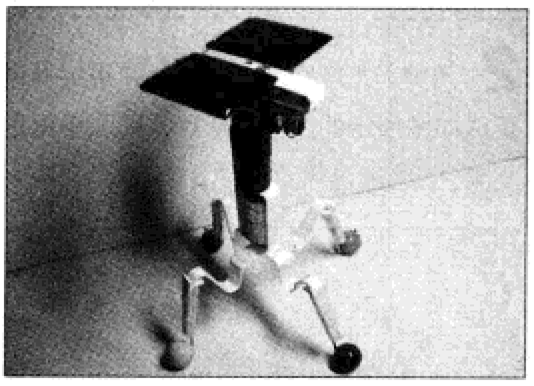
1 用尖嘴钳把曲别针制成轮子的支架，前端弯折一下是为了固定方便。

2 将PVC线槽裁成4只脚的脚套，向内一侧有一个弯折，可以顶住轮子支架的弯折。

3 脚套弯折后叠在一起，用透明胶包好（中间留一点缝隙供套入脚尖）。



4 用胶带把轮子支架固定在脚套上，注意调整好轮子的角度，确保轮子能够平滑转动。轮子脚套不用时，可以随时取下。



常见问题与解决方案

正常情况下，在阳光下测试，电机会有节奏地转一阵、停一阵，注意观察还会发现在电机开始转动的瞬间，LED会有一点微光闪动。以下列出可能存在的问题以及解决的方法。

Q1 电机转一下就停止，电路不再触发

1. 如果是小电流的电机，因为内阻比较大，电解电容充电分压在 LED 两侧的电压较低，不足以让 LED 导通，解决的办法是可以尝试在电机两端并联一个几十欧姆的电阻。

2. 如果是在强烈阳光下存在这个问题，则是太阳能电池板的电压太高，同时电机功率较小的原因，电机放电的速度赶不上太阳能充电的速度，导致三级管一旦导通后就无法截止。解决的办法是可以尝试在NPN三级管基极与PNP三极管集电极之间连接一个1kΩ左右的电阻，使三级管导通的条件提高，另外也可以在电机两端并联一个几十欧姆的电阻，加速放电。

Q2 电机一直转动，没有节奏性的转、停

太阳能电池板的电压太高，尝试多串联一个LED以提高电路充电阈值上限。

Q3 电机不转，LED也不亮

1. 太阳能电池板的电压太低：至少要求太阳能电池板额定最高电压能够达到3V。

2. 光线不足：需要在足够的阳光下或者白炽灯下进行测试。

3. 电路错误：检查电路焊接是否正确。

Q4 LED常亮，电路不触发

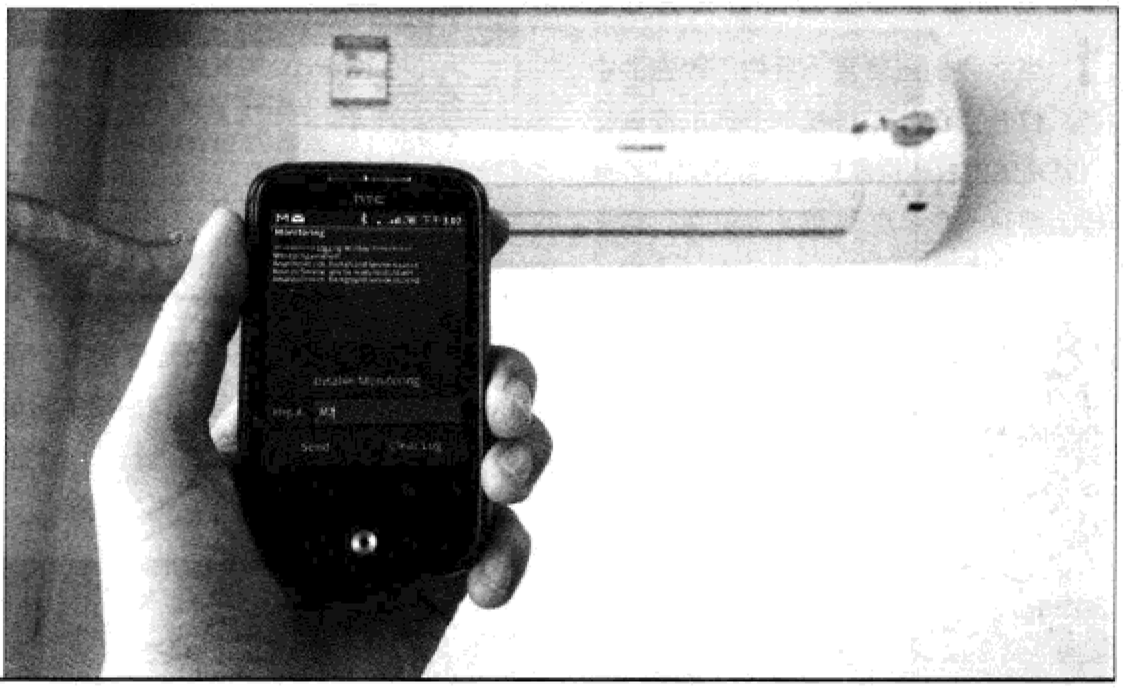
电路错误：检查电路焊接是否正确。

Q5 电机嘶嘶响，但是不转

电解电容容量过大：尝试减小电解电容的容量，根据经验，一般耐压高、体积大的电解电容用在这个机器人上效果最好。

◎程晨

Arduino无线模块让手机也能遥控电器



北京的春天总是很短暂的，眼看着夏天即将到来，我又开始寻找那早就不知道丢在哪里的空调遥控器了。想到之前介绍的应用于Arduino的蓝牙无线模块Bluetooth V3，我突然有了个主意，要是给空调装上Bluetooth V3模块，让空调有了蓝牙接口，不就可以用手机控制空调了么？那就再也不用为找不到空调遥控器而烦恼了。这个想法还可以应用在其他电子设备，比如电视机、DVD播放机、遥控玩具等上。如果在Arduino外围加装一些继电器、伺服电机，还可以用来控制电灯、自动窗帘等设备哦。你家里有可以改造的电子设备吗？赶快动手向数字化家庭迈进吧！真是手机在手，万事不愁呀！

原理说明

让我们以空调为例介绍怎么用Bluetooth V3无线模块实现手机遥控功能吧。动手之前，先来看看空调原配的遥控器是怎么控制空调的，我用一个简单的示意图说明一下，见图1。遥控器通过红外发射管发出一连串的二进制脉冲码。为了保证脉冲码在传输过程中不受其他红外信号的干扰，会先将脉冲码调制在特定的载波频率上，然后再发送出去。红外接收头收到微弱的脉冲码后，进行放大、滤波、解调后传给空调控制板，最终由空调控制板控制压缩机、电机等部件的工作。

我的想法是用一个蓝牙信号接收部分代替红外接收头，当收到手机传来的数据时，给空调控制板发送相应的二进制脉冲码，以达到控制空调工作的目的，原理如图2所示。

所需元器件与安装方法

方案决定了就开始动手吧，所需要的元器件见图3。

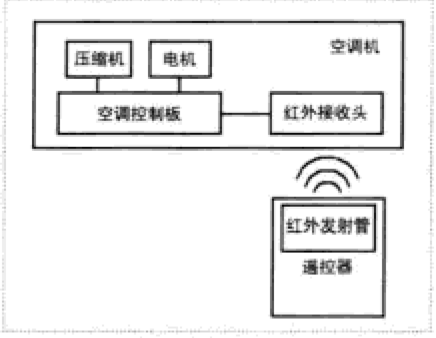


图1 空调遥控原理示意图

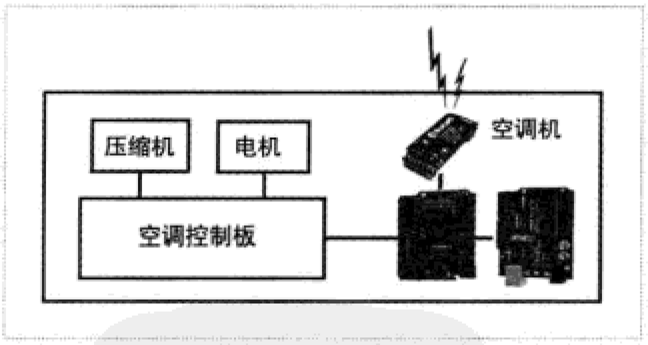


图2 空调安装蓝牙功能示意图

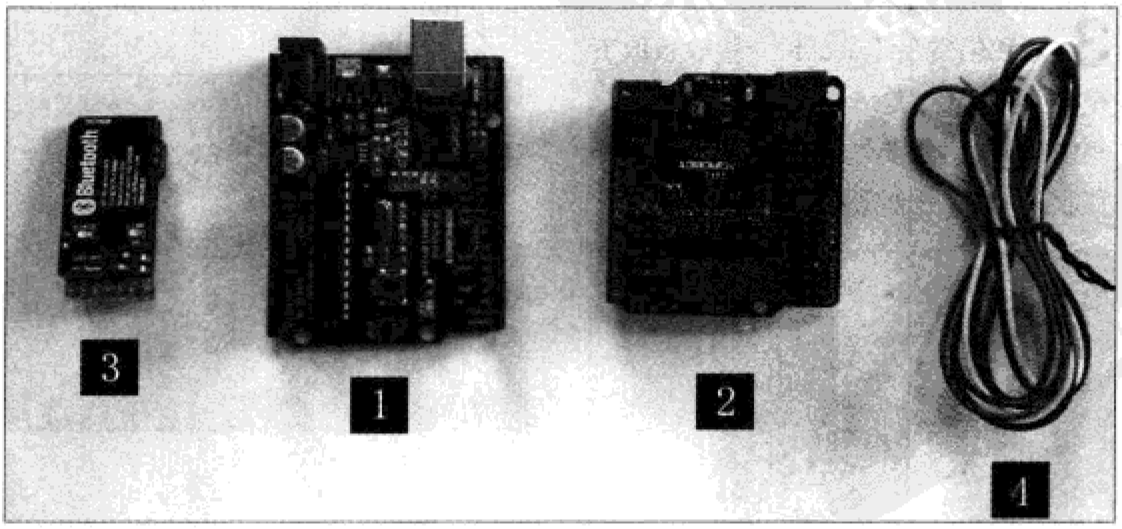
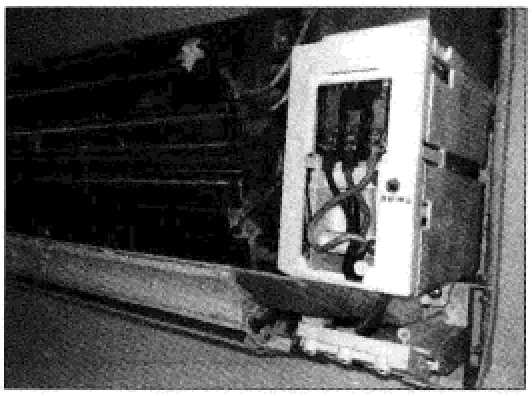
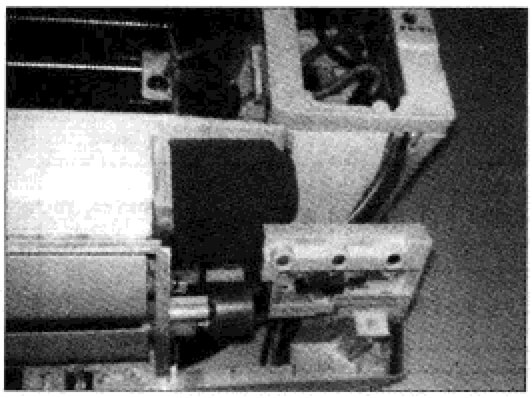


图3 所需元器件

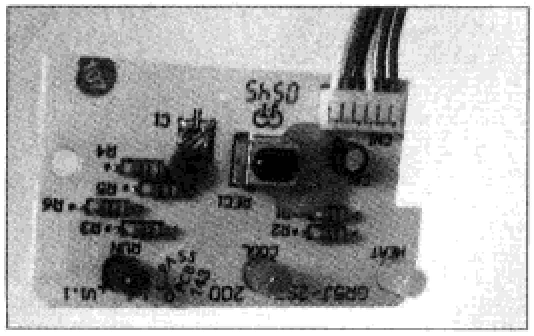
1 当然我们还需要一台用于改造的空调。打开空调外壳，找到空调的控制板（就在图中右侧位置）。一般空调的控制板上都有一个“自动/停止”开关，用于在没有遥控器的情况下启动、停止空调。



2 在控制板的下方有一个红外接收板，我这台空调的红外接收板上包含红外接收头和红、黄、绿3个空调状态指示灯，红外接收板和控制板之间通过一个6芯线缆连接。

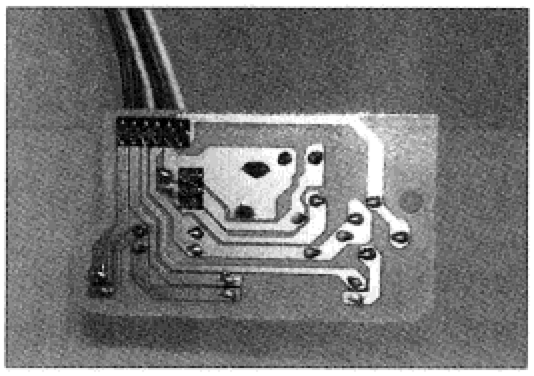


3 把我们需要改动的红外接收板取下来，可以发现这是一块单面板，元器件都集中在一面，主要是3个LED灯和1个红外接收头，还有一些限流电阻。

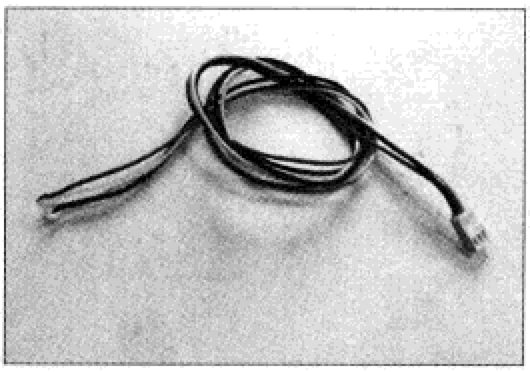


编号	元器件	数量	备注
1	Arduino328控制板	1	
2	Xbee传感器扩展板	1	用于将蓝牙模块安装到Arduino328控制板上
3	Bluetooth V3无线模块	1	
4	导线	若干	最好有3种颜色

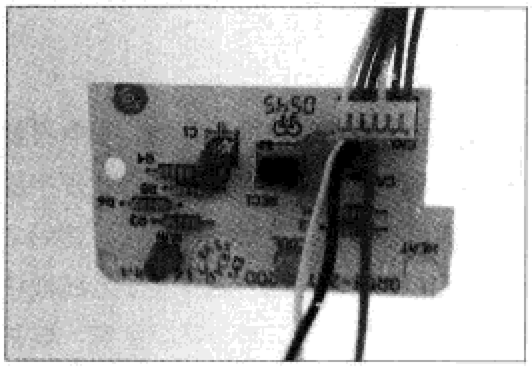
4 红外接收板的另一面是覆铜层，可以很清楚地看出电路。通过对线路的简单分析和测量，我对6条线缆进行了一个定义（从左到右），以便于后面的改装。



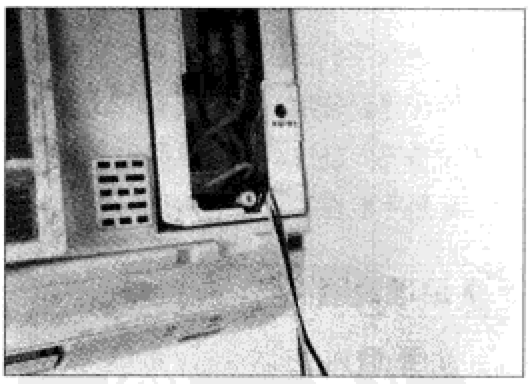
5 这里只需要改动其中的3根线——+5V、GND、红外接收头信号线。用+5V和GND为Arduino控制板提供电源，用红外接收头信号线给空调控制板传送二进制信息码。为了便于连接，我将这3根线做成了一根3芯的线缆，其中红色为+5V，黑色为GND，白色为信号线。线的一头按照Xbee传感器扩展板上数字接口的定义做了个插头，以便于插在Xbee传感器扩展板上，另一头就直接接在红外接收板上。



6 根据芯线的定义将线缆和红外接收板连接起来，红色导线连接到红外接收板的蓝线，黑色导线连接到红外接收板的绿线，白色导线还是连接红外接收板的白线。请注意，如果空调的型号不同，可能需要切断原红外接收头信号线与空调控制板的联系。

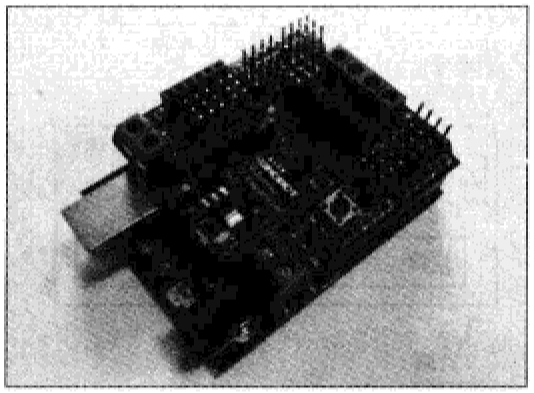


7 接下来把红外接收板装回到原来的位置，扣上空调的外壳，并把3芯的线缆引出到空调外面。

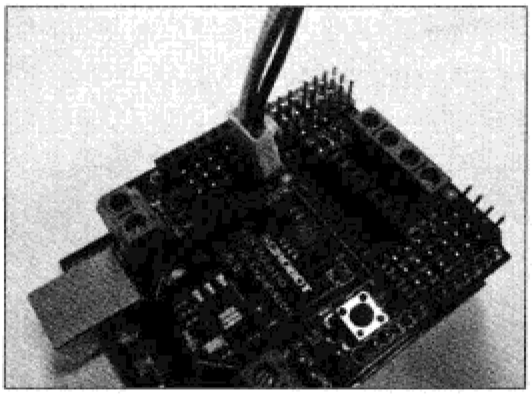


序号	导线颜色	芯线定义
1	红	黄灯（HEAT）
2	棕	绿灯（COOL）
3	黄	红灯（RUN）
4	蓝	+5V
5	绿	GND
6	白	红外接收头信号线

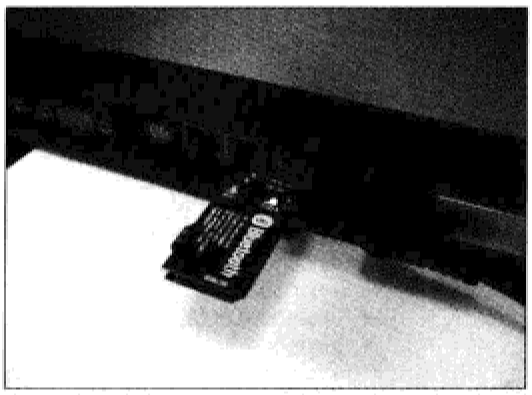
8 现在开始组装蓝牙信号接收的部分了。先将Xbee传感器扩展板插到Arduino328控制板上。Xbee传感器扩展板上的几个电源输入端要用导线连在一起。



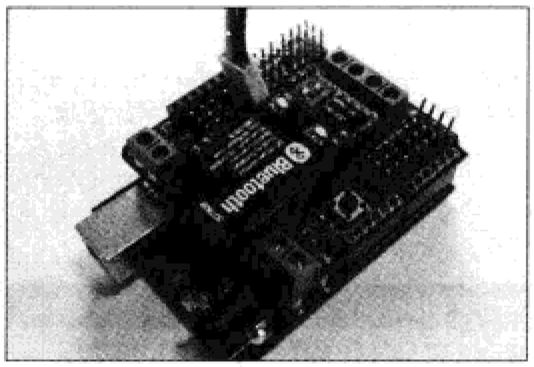
9 再将3芯线缆插到Xbee传感器扩展板上，Xbee传感器扩展板有14个数字I/O接口，根据软硬件的需求决定使用哪个，我使用的是数字接口8。需要提醒大家，安装的时候一定要注意芯线定义。



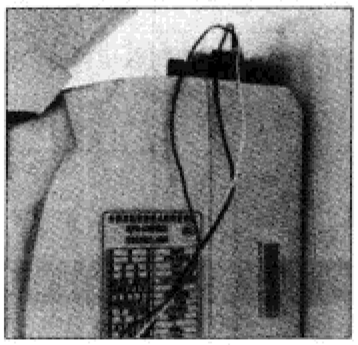
10 在PC上通过USB to Serial模块对Bluetooth V3无线模块进行设置。



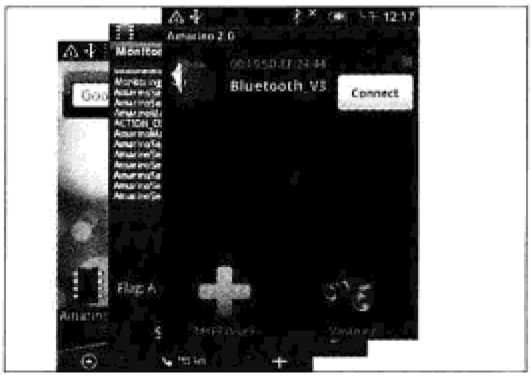
11 将设置好的Bluetooth V3无线模块插到Xbee传感器扩展板上，安装工作就完成了。



12 我在这里偷了个懒，直接把蓝牙信号接收部分放在了空调的上方，反正空调自己也不会到处跑（其实主要是怕自己拆得太多，最后装不上了）。有兴趣并且动手能力强的读者，可以考虑把蓝牙信号接收部分装到空调内部。



13 将空调通上电后，选择一部Android系统的手机，安装Amarino软件。运行Amarino软件能够搜索到蓝牙设备Bluetooth_V3，选择Connet按钮，如果连接成功的话，就可以给空调发送控制报文了，报文可根据你的Arduino程序自己定义。



程序该如何编写

接下来具体说说蓝牙信号接收部分发送给空调控制板的信号是什么样的。

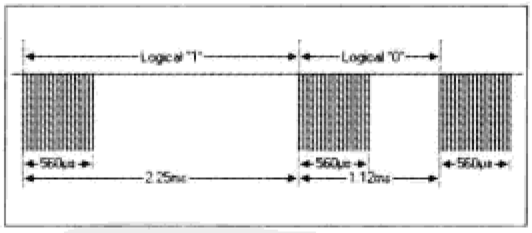


图4 空调遥控器发送的二进制脉冲码

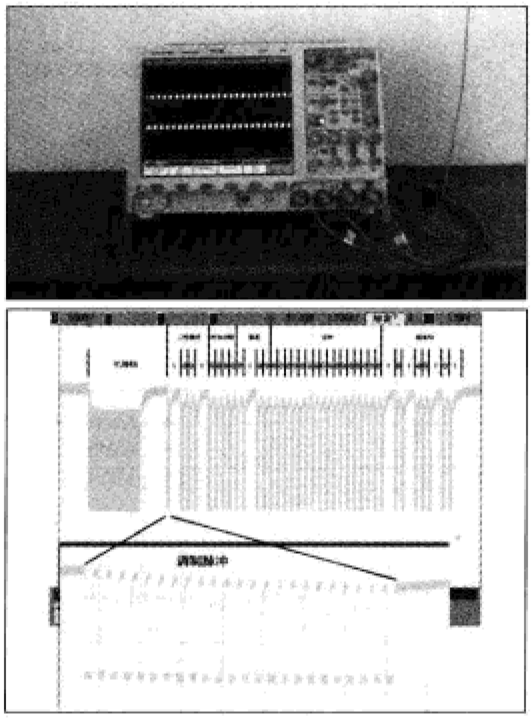


图5 用示波器捕捉遥控命令的二进制脉冲

先来看看原来红外接收板给空调控制板的信号。空调遥控器发送的二进制脉冲码载波频率是38kHz，采用脉冲宽度调制，每一位的时间为1.125ms或2.25ms，逻辑0和逻辑1的定义如图4所示。

红外接收板发送给空调控制板的信号是一样的，我们可以用示波器捕捉一个遥控命令的二进制脉冲来具体看一下。一般可以直接在3芯的线缆上测量，这里要注意，如果之前切断了红外接收头连接空调控制板的信号线，这样就不能测量了，

步骤	遥控器遥控	手机遥控
1	遥控器通过红外发射管发射二进制脉冲码给空调	手机通过蓝牙发送控制报文数据，此时是串行数据，类似于电脑上串口调试工具发送的数据
2	红外接收头收到二进制脉冲码后进行放大、滤波送给空调控制板，在这个环节中二进制脉冲码的格式没有变化	Bluetooth V3无线模块收到报文后，通过UART接口将报文转发给Arduino328控制板（由于Xbee传感器扩展板仅仅实现线路定义的转换，将无线模块的UART接口接到Arduino328控制板的UART接口上，所以此处略去不描述）
3	空调控制板指挥各个部件开始干活	Arduino328控制板收到串行数据的报文后，根据报文的定义生成相应格式的二进制脉冲码，通过数字接口8发送给空调控制板
4		空调控制板指挥各个部件开始干活

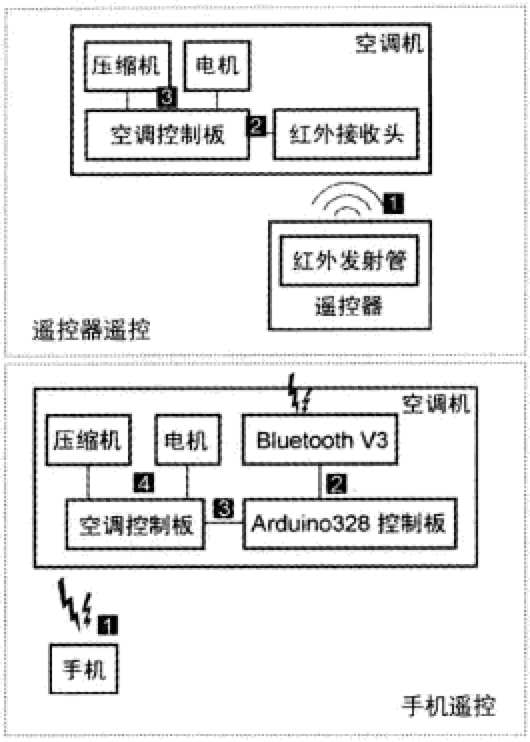


图6 信号流向图

空调二进制脉冲的构成

引导码	工作模式 M（4bit）	附加功能 W（4bit）	温度 T（4bit）	定时（16bit）	结束码（8bit）
	0001 循环 1001 制冷 0101 除湿 1101 送风 0011 制热 1000 关机	10XX 风速低 01XX 风速中 11XX 风速高 00XX 风速自动 XX1X 扫风* XXX1 睡眠模式*	0000～1111对应16～30℃（温度只能在这个范围内）	程序未做	10100101

注：带 * 的程序中未做

必须在红外接收头的信号输出端测量。

图5中最前面的一段相对较宽的脉冲以及之后跟着的一段高电平称为引导码，后面跟着的是数据区，数据区是由0和1组成的二进制码。经过对各个状态下发送的二进制脉冲码进行分析，可以总结出数据区的内容分为工作模式设置、附加功能设置（包括扫风、风速、睡眠等功能）、温度设置、定时设置和结束码5个部分。图5中二进制码所表示的意思为：制冷模式、风速自动、扫风关闭、睡眠模式关闭、温度18℃、定时关。蓝牙信号接收部分发送的二进制码也是一样的，这样才能“欺骗”到空调控制板，让它以为是红外接收板发送过来的信号，进而实现手机控制空调的功能。

遥控器和手机这两种控制方式的信号流向对比如图6所示。

手机遥控空调程序

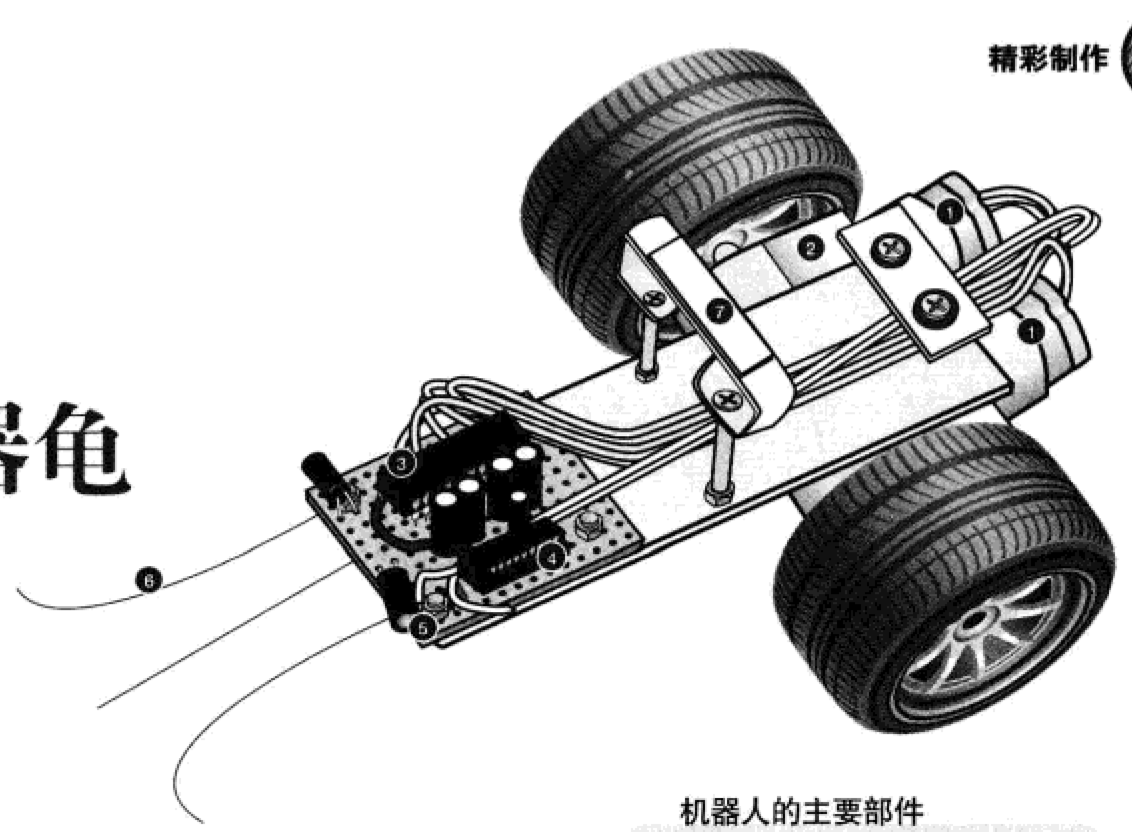
```
intIR_S=8;
uint8_tmode=0x08;//初始状态为关机

uint8_ttemper,wind;
voidsetup( )
{
  pinMode(IR_S,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);//9600bps
}
voidloop()
{
  uint8_ttemp,temp1;
  if(Serial.available( ))
  {
    temp=Serial.read( );
    switch(temp)
    {
      case'M':
      temp=Serial.read( );
      switch(temp)
      {
        case'1':
        mode=0x01;
        break;
        case'2':
        mode=0x09;
        break;
        case'3':
        mode=0x05;
        break;
        case'4':
        mode=0x0d;
        break;
        case'5':
        mode=0x03;
        break;
        default:
        mode=0x08;
        break;
      }
      break;
      case'W':
      temp=Serial.read( );
      switch(temp)
      {
        case'1':
        wind=0x08;
        break;
        case'2':
        wind=0x04;
        break;
        case'3':
        wind=0x0c;
        break;
        default:
        wind=0x00;
        break;
      }
      break;
      case'T':
      temp=Serial.read( );
      temp1=Serial.read( );
      temper=(temp-48)*10+(temp1-48)-16;//只采用4bit的数据，不
        会有数据超范围的危险，所以不
        做温度值范围判断
        break;
        default:
        break;
    }
    IR_Sendcommand( );
  }
  delay(200);
}

voidIR_Send38KHZ(intx,inty)//产生38kHz红外脉冲
{
  for(inti=0;i<x;i++)
  {
    if(y==1)
    {
      digitalWrite(IR_S,0);
      delayMicroseconds(9);
      digitalWrite(IR_S,1);
      delayMicroseconds(9);
    }
    else
    {
      digitalWrite(IR_S,1);
      delayMicroseconds(20);
    }
  }
}
voidIR_Sendcode(uint8_tx)
{
  for(inti=0;i<4;i++)
  {
    if((x&0x08)==0x08)
    {
      IR_Send38KHZ(23,1);
      IR_Send38KHZ(64,0);
    }
    else
    {
      IR_Send38KHZ(23,1);
      IR_Send38KHZ(21,0);
    }
    x=x<<1;
  }
}
voidIR_Sendcommand( )
{
  IR_Send38KHZ(280,1);//发送9ms的起始码
  IR_Send38KHZ(140,0);//发送4.5ms的结果码
  IR_Sendcode(mode);//工作模式
  IR_Sendcode(wind);//风速
  IR_Sendcode(temper);//温度
  IR_Sendcode(0x00);
  IR_Sendcode(0x00);
  IR_Sendcode(0x00);
  IR_Sendcode(0x00);
  IR_Sendcode(0x0a);//结束码
  IR_Sendcode(0x05);//结束码
}
```

■ 本程序可在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

复原移动式机器人的亚当和夏娃

会寻光的机器龟

◎臧海波　◎插画：刘少冉



机器人的主要部件

1. 减速电机
2. 电池仓
3. 74HC245
4. 74HC86
5. 光敏二极管
6. 触须
7. 水银开关

1949年，为了模仿自然生命，英国科学家Grey Walter设计制作了一对名叫Elmer和Elise的机器人，因为它们的外形和移动速度都类似自然界的爬行龟，也被称为机器龟。这是公认最早的真正意义上的移动式机器人。本期我们就一起来用现代的材料和制作工艺复原这对机器人亚当和夏娃。

Walter机器龟的核心是一个由电子管、阻容元件和继电器构成的简单的单细胞“大脑”。头部的光电管和外壳上的碰撞开关是机器龟与外界沟通的传感器，两只电机提供了移动和转弯能力。

机器龟的行为

每台机器龟的前部都装有一个灯，充电站里面也有一个导航灯。这就使机器龟、充电站、外界环境之间建立了一定的联系。光电管使机器龟具有趋光性，可以对外界的光线变化发生反应。安置在每只机器龟前部的光源，使机器龟之间亦有一定的互动性。有趣的是，当机器龟在镜子前看到自己时，也会产生行为反应，Walter将其形容为“这是机器龟存在某种自我意识的证据”。龟壳上的碰撞开关使它们在碰到障碍物时会自己跑开。当电池电量降低到一定程度时，机器龟还可以自己循着充电站的导航灯光源进去充电。对机器龟的研究证明，少量脑细胞之间以不同方式的连接，可能会引起很复杂的行为。

时隔60多年，电子技术已经发生了革命性的变化，即使作为一名业余爱好者，手头的元器件对于当年的科学家来说也绝对是重量级的了。笔者这次要用现代的材料和制作工艺来重现这个经典的起源型机器人。我的任务会因此变得简单吗？请继续往下看吧。

制作机器龟的移动平台

一台运转灵活的机器人在制作过程中一定会涉及到机加工环节，厂家预置的通用五金件可以节省你的时间，但是不能解决所有问题，如果想制作出个性化的外观、复杂的功能，就一定要自己动手了。笔者就很喜欢金工和机械设计。对于业余制作来说，材料的选择和结构的设计可以天马行空，一旦将注意力集中在这些没有人解决过的问题上，创意就开始奔涌而出，这是我们的优势，要好好加以利用。我鼓励大家多做做这方面的功课，就从移动平台、基础小车开始，尝试自己设计、自己加工，以后慢慢过渡到自制舵机框架、摇臂、云台或者更复杂的机器臂、机器手、多足机器人，就都会得心应手了。

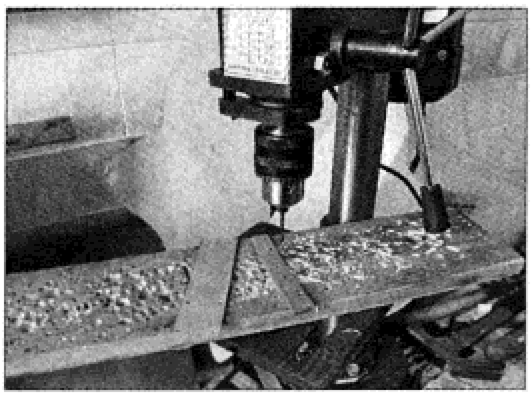
表1　材料清单

名称	数量
减速电机	2只
配套轮胎	2只
铁板或铝板	适量
尼龙万向轮	1个
M3螺丝螺母	若干
M3套管	若干
M3铜柱	若干
保鲜盒	1个
4AA电池仓	1个
小弹簧	2个
双面胶带	适量

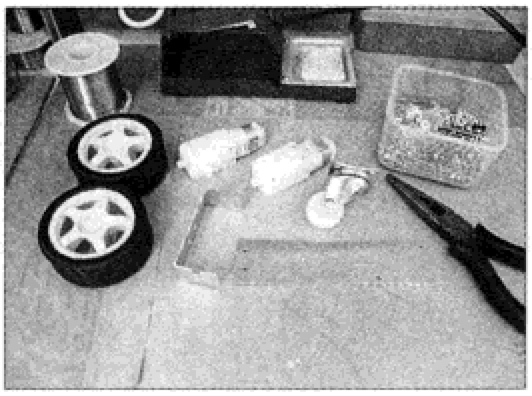
搭建这个平台所使用的电机和轮胎是机器人基础小车里常用的型号。我使用1mm厚度的5052铝板做了一个T字型骨架。整个车体只有两个五金件，用铁剪刀下料、电钻打孔、台钳折边可以很快加工出来。大家也可以使用手边材料，比如用废光驱外壳制作骨架，如果觉得铁皮比较软，可以折一下边沿以增加强度。

以下是我加工这个小车平台的过程和做好的实物。

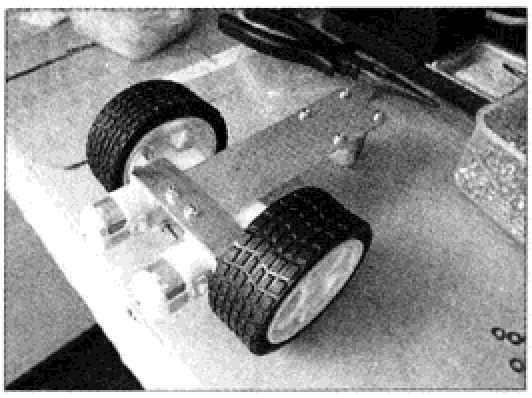
1 用电钻打安装孔。



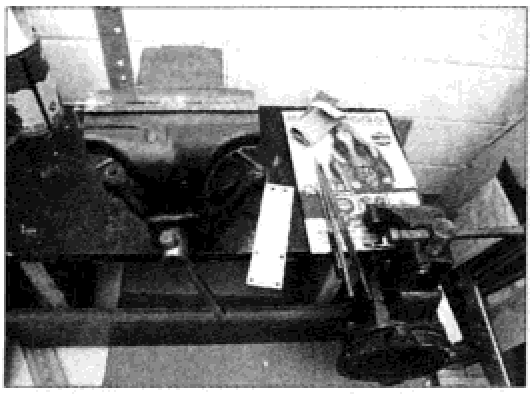
3 准备组装。



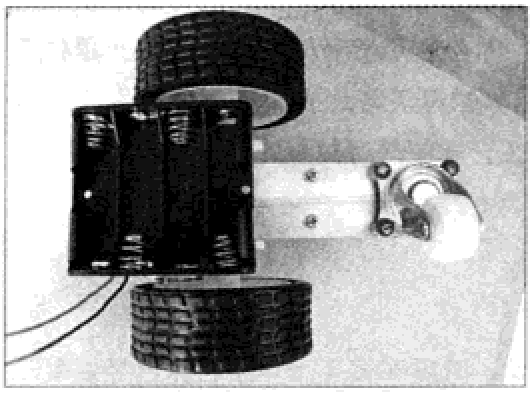
5 装配完成的样子。



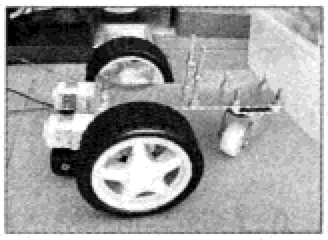
2 用台钳折边。



4 电池仓用双面胶带贴在电机下面。



6 保鲜盒通过两根弹簧，以“悬浮”的方式，罩在移动平台外面，作为机器龟的外壳。盒子的里面固定着一只水银开关，负责检测外界的碰撞。这个结构可以确保即使龟壳受到微小撞击，水银开关也会被触发而动作。

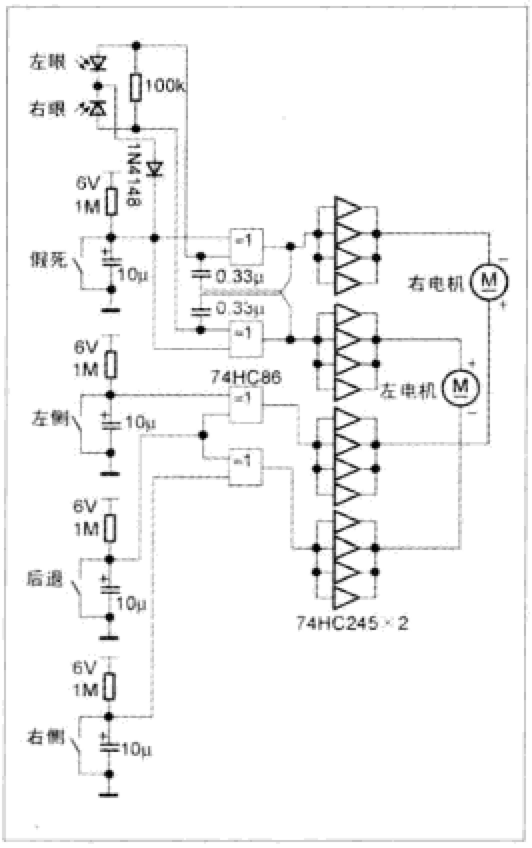


制作机器龟的电子脑

与机器龟同一时期，冯·诺依曼已经提出了二进制和程序内存的思想，这是当今数字计算机的主流结构。但是Walter仍然在他的研究里强调用纯模拟线路来模拟生物大脑的重要性。Walter的这种思想启发了随后几代的机器人研究者，其中最著名的就是Mark Tilden和他的BEAM（仿生-电子-艺术-机械）机器人。

这里我使用一片四异或门电路74HC86来制造机器龟的电子脑，这只机器龟也是一部比较高级的BEAM机器人。

机器龟的眼睛由两只光敏二极管构成，向左右两侧分开适当角度排列，检测环境光。当两眼入射光线不同的时候，光敏二极管回路里正、反方向对异或门的输入电阻是不同的，电路驱动两只电机做差速运转，使机器龟总是向着光线最强的方向运动。



机器龟的电路图

水银开关和3只触须开关负责感知外界环境，使得机器龟可以对外界的物体做出一定的反应，它们的执行优先级要高于光敏二极管。这4组开关的执行时间取决于线路图中RC的时间常数，1MΩ电阻和10μF电解电容为参考值，可能需要根据机器实际运转情况做适当调整。

表2 元器件清单

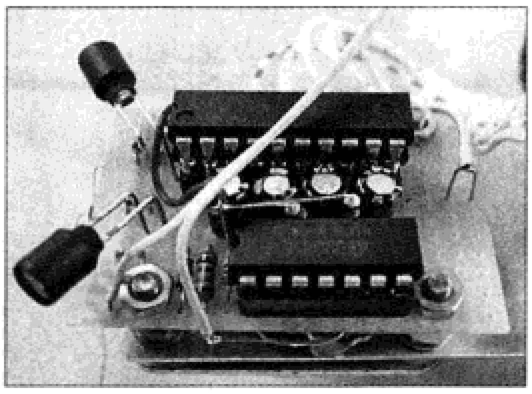
型号	数量
74HC86	1
74HC245	2
光敏二极管	2
1N4148	1
1MΩ电阻	4
100kΩ电阻	1
0.33μF电容	2
10μF电解电容	4
工业冷压端子	3
0.8mm钢丝	若干
细导线	若干
热缩管	若干
洞洞板	一片

机器龟的行为模式归纳如表3。

电路部分较简单，用一小片洞洞板就可以焊起来，不再占过多篇幅描述。有几点需要注意的问题：

1 电路和机械部分需要协调工作才能达到最佳效果。线路图中的光敏二极管、触须、电机这些对安装方位有要求的器件，一定要事先规划好。

2 用不透光材料包裹好光敏二极管，只使它的前部透光，我用的是黑色热缩管。两只光敏二极管需要呈一定夹角排列，形成机器龟的虚拟视野。光敏二极管周围尽量清空，方便以后调整夹角。



3 74HC245构成电机的双向驱动，需要根据电机的规格来叠加芯片，以获得足够的驱动电流。两片叠加起来，驱动桥每臂可以输出140mA的电流，足够驱动普通小型电机了。叠加的芯片最好焊接在一起，防止个别管脚接触不良导致电路工作不正常，使能跳线也可以直接焊接在芯片上，形成一个独立的功能模块。

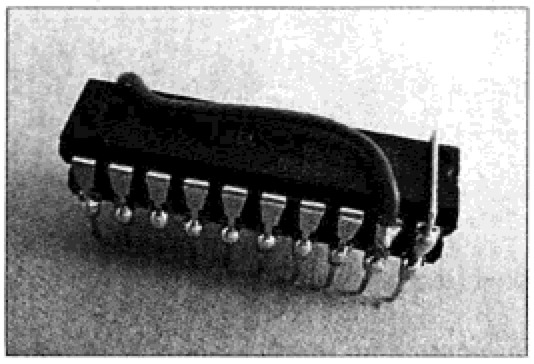
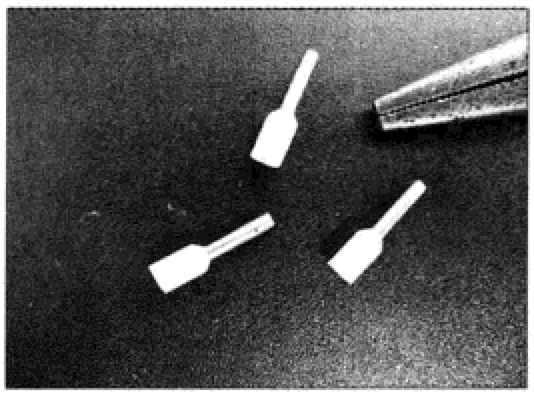


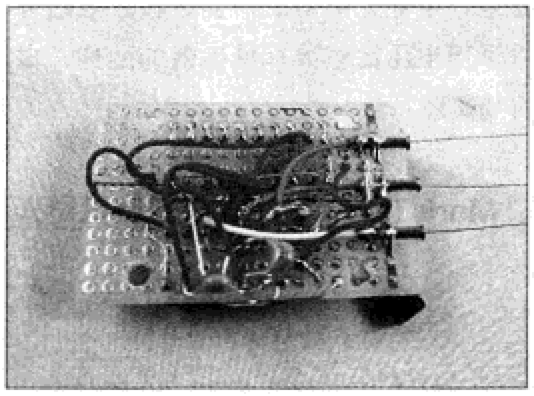
表3 机器龟的行为模式

编号	左眼	右眼	左碰撞	右碰撞	回转	水银	动作
1	任意	任意	触发	无	无	无	顺时针
2	任意	任意	无	触发	无	无	逆时针
3	亮	暗	无	无	无	无	逆时针
4	暗	亮	无	无	无	无	顺时针
5	任意	任意	任意	任意	任意	触发	假死
6	任意	任意	无	无	触发	无	后退

4 触须开关的制作：拆出工业冷压端子的铜芯——其实就是一个细铜管，读者也可以找其他合适的材料替代。

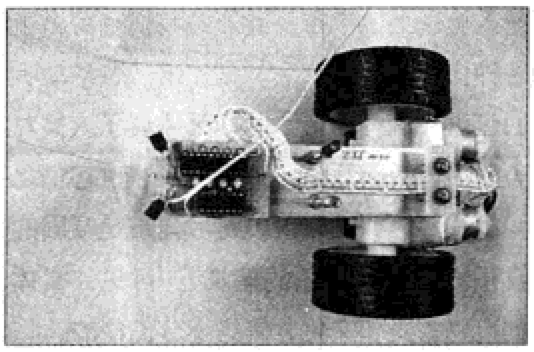


5 用细钢丝弯成触须，触须的末端，套一节绝缘管，插入细铜管里，再与相对应的电路节点连接。调节绝缘管与细铜管的配合，就可以微调这个开关的灵敏度。经过试验，我发现钢丝是无法焊接的，最后使用电线里面抽出的细铜丝把它捆绑在节点上，外面堆焊锡加以固定，实际效果还可以。

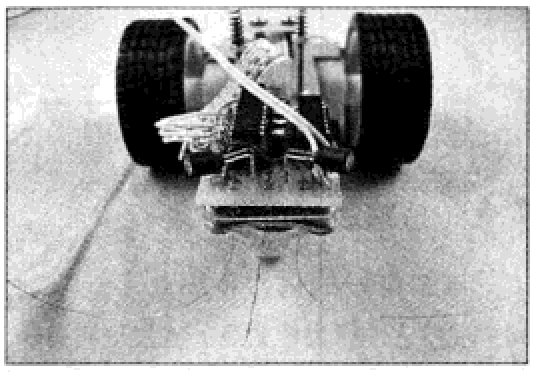


总体装配和调试

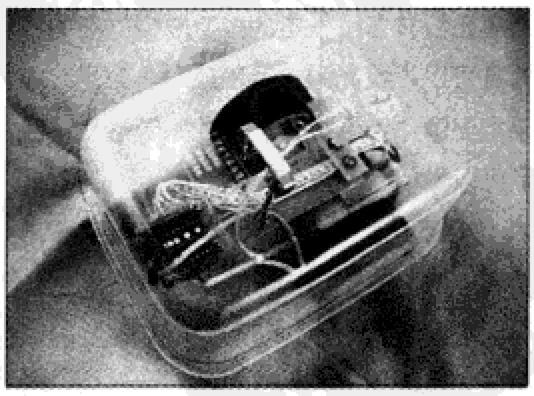
1 把电路部分装配在移动平台上。



2 3只触须的形状需要配合外面罩的保鲜盒调整好，使它们互不干扰。

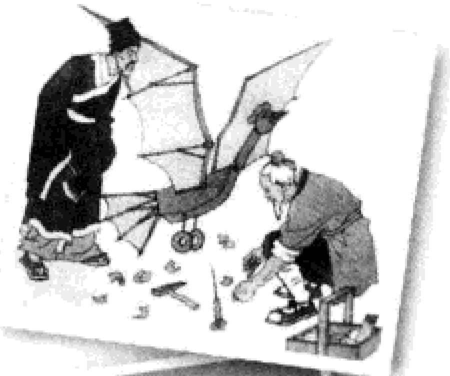


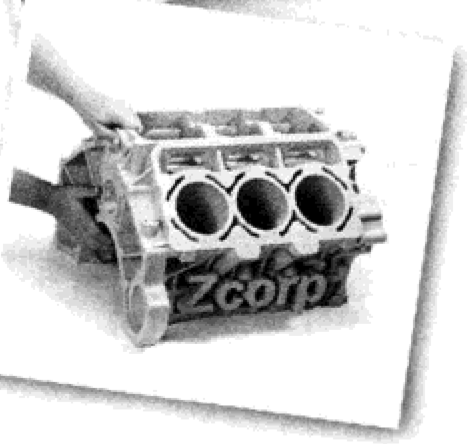
3 调整好水银开关的水平角度，使盒子受到碰撞时，机器龟可以灵敏地进入假死状态。至此，机器龟就制作完成了。



3D打印——快速成形技术

◎金今





从图纸到3D CAD

能够创造出自己想象中的完美事物一直以来都是人类的理想，因为这个理想，我们制造出各种机械，建造出各种建筑，把人类送上了宇宙。此外，我们也写出了各种优秀的文学作品，创作出了各种动听的音乐。这些创造物同样都体现了人类对美的追求，因此诸多先哲就论述过它们之间的关系，概括来说就是“建筑是凝固的音乐，音乐是流动的建筑”。可见，实体创造物之美和文化之美是不分伯仲的。

然而事实又并非如此。自古以来，我们就可以很容易地把文化产品写出来或画出来，但是真正能做出自己想要的东西的人，只有很少一部分人——因为这是门手艺。

既然直接作出实物有困难，那么人们就退而求其次。为了表达清楚想做些什么东西，人们就学会了绘制图示、注解以及图纸，并且创造出相应的各种标准来规范它们。这样做个零件，搞个小工程什么的，问题就解决了。人们完全可以先画好设计图纸，再把这些图纸交给工匠们去实现，这就是工程学的由来。

随着人类技术水平的提高，机器和建筑越造越大，越造越复杂，这时候制图本身就成为一件极其费时的工作，一个工

一些想法与功能扩展

与制作好的机器龟相处了一段时间，观察它的行为模式后，我发现它有一些脱离设计意图的随机行为。分析其原因是由于控制电路和移动平台的不精确性。我对它的看法也逐渐改变：它不是一台机器，而是一只人造电子生物。

对比BEAM机器人三大守则，这只机器龟已经具备了一定的躲避障碍的能力，并且可以寻找光源，只差最后一条了。如果把光源作为维持它运转的能源的话，我们可以做如下改进：

电池仓里换用可充电电池，或者单块锂电池。

在机器龟的外壳顶部安装适量的太阳能电池板。

加入电池电压检测电路，当电压跌落到一定数值的时候，让机器龟处于静默状态，同时切换太阳能电池板给电池充电；电池充满电后恢复运转。电路可以采用电压比较器加继电器的结构，很容易实现。

加入环境光检测电路，在光线较暗的环境下强制机器龟进入休眠状态，当光线充足的时候恢复运转。太阳能电池板可以兼作环境光传感器，同样采用电压比较器和继电器的结构，与外壳里面的水银开关并联工作。Ⓦ

Mark Tilden制定的BEAM机器人三大守则

(1) A robot must protect its existence at all costs.
机器人必须保护自己。

(2) A robot must obtain and maintain access to a power source.
机器人必须维持运转。

(3) A robot must continually search for better power sources.
机器人必须寻找能源。

程光是画图纸就需要很长时间。法国的象征——埃菲尔铁塔，设计的各类草图就达5300多张。可以设想，如果是建造三峡大坝那么大的工程，那画图纸岂不是成了一件不可能完成的任务？

好在后来有了计算机这个发明，可以用电脑来解决繁重的绘制工作，这和弹道计算以及原子弹开发一样，是计算机开发之初的原始设计任务。计算机的加入，大大简化了人们的设计工作，让人的效率得到了很大提高。这里就牵涉到CAD（Computer Aided Design，计算机辅助设计）的概念，尤其是3D CAD（因为零件是3D的）的发展。

CAD技术诞生于20世纪60年代，起源于美国麻省理工大学的交互式图形学的研究计划，也就是研究图形之间的关系变化，用数学模型来解决图形的绘制问题。这个很原始的系统也可以完成很多复杂的工作，但在那个时候，计算机本身就是一个非常昂贵的“时鲜货”，只有通用和波音这样的大公司才使用得起。经过大约20年的“象牙塔”生活，到20世纪80年代后，因为个人电脑（PC）的出现和普及，CAD才得以在千百万企业以及个人用户上普及，并出现了专门从事CAD系统开发的公司。我们所熟悉的Autodesk公司就是从那个时候崛起的。而又经过大约20年的发展，CAD已经是现在工业和设计领域最基本的工具，成为我们现代社会发展的基础之一。

CAD主要的工作流程是个人在工作电脑上用相关软件制作出一个设计雏形，然后使用输出设备制作出可以和别人交流的实物。一般来说，输出设备就是显示屏幕和传统打印机。当然，现在我们可以抱着笔记本电脑到处传播着你的设计，而在过去，交流主要还是依靠传统的纸张载体，也就是2D打印。

但是打印出来的设计很缺乏直观性，必须掌握相关知识才能看懂，因此工程师和科学家一直都想突破2D纸面的限制，直接制作出直观的3D零件，但这就回到了问题的原点——并不是每个设计者都是合适的木匠。

工业设计的新宠儿——快速成形技术

解决这个问题的方法并不新颖，它的出现基于CAD的软件基础，但是在CAD向大众普及时就已经从实验室走向了工厂，这个方法就是快速成形技术。快速成形技术是一个覆盖非常广泛的学科，涵盖了建筑和制造的不少领域，此外机械工程、CAD、逆向工程技术、分层制造技术、数控技术、材料科学、激光技术等或多或少都和这个技术有交集。我们文章的标题——3D打印，在相关专业技术的学科中是找不到这个词的，从分类上说，它是属于快速成形技术的一个分支。

快速成形技术又称快速原型制造（Rapid Prototyping Manufacturing，简称RPM）技术，诞生于20世纪80年代后期，是基于材料堆积法的一种高新制造技术，被认为是近20年来制造领域的一个重大成果。快速成形技术诞生的目的，就是为了解决工业生产中的材料成形问题，尤其是如何快速有效地生成设计好的样品，加快生产与设计的速度。

作为现代制造业基础的数控机床，其实也是一种材料成形技术，它使用切削、铣、锉等去料方法逐渐把原料加工成形。但即使有了计算机程序的灵活操纵，原材料却还是那么不好加工，用传统的加工方法很难做到“快速”这两个字。那么快速成形技术又将使用什么奇妙的方法来超越传统技术，在瞬间做出人们想要的物体呢？

这里暂且不提快速成形技术的基本思想，先来说说这种“神奇技术”实际的加工工艺。就目前而言，快速成形的工艺方法已经发展到了几十种之多，其中主要工艺只有4种基本类型：光固化成型法、分层实体制造法、选择性激光烧结法和熔融沉积制造法。其他方法大多是这4种工艺的融会或者是延伸。

光固化成型法（Stereo lithography Apparatus，简称SLA）

这种方法类似于集成电路的光蚀刻印制，也使用液态光敏树脂材料，用激光照射蚀刻掉每层所需部分以外的树脂，刻完一层固化一层，然后再将新的光敏树脂材料层堆积到已经固化的层面之上，继续一个新的蚀刻过程。按这个程序循环往复，就可以得到所要的零件。

分层实体制造法（Laminated Object Manufacturing，简称LOM）

这种方法实际上就是把SLA法的液态光敏树脂材料改为固体薄层材料，刻一层，粘一层，最后堆积出所需要的零件形象。

选择性激光烧结法（Selective Laser Sintering，简称SLS）

这种方法就是铺一层可烧结的粉末，用激光把零件部分烧结凝固，然后再铺一层粉末……一层一层烧结堆积起来。

熔融沉积制造法（Fused Deposition Manufacturing，简称FDM）

这种方法也叫熔丝沉积制造法，最类似我们传统使用的打印手法，是将热塑性成形材料丝作为“墨水”，在喷头中熔化后喷射到基面上，凝固并堆积成所需的零件形状。

比较这4种方法的相同之处，我们可以看出，它们都是采用一层一层的堆积方法，类似拼乐高积木那样，把零件“堆”出来。一点没错，快速成形技术的思想就是在计算机控制下，先是化三维为二维，再把二维平面“打印”出来加以堆积，最终完成零件的成形与制造。用专业术语来说，任何几何物体都可视为“点”或“面”的叠加。从CAD中我们可以得到“点”或“面”几何信息的计算机表述，

再与成形工艺参数信息结合，控制材料有规律、精确地由点到面，由面到体地堆积零件。

快速成形技术所面临的问题

近十几年来，随着全球市场一体化的形成，制造业的竞争十分激烈。快速制造出原型与产品对于各大企业来说都是极为重要的事，因此快速成形技术就得到了很大的发展，并由此衍生出3D传真系统、3D打印系统等等，但是快速成形技术从开始至今所面临的问题也是不少的。

第一个就是精度问题。在喷墨打印机上，如果一台打印机喷出的墨滴太大，那么整张图片就会变成“马赛克”，难以表现出图形的细节部分。而快速成形技术使用的“点”如果过大，问题就更为严重。由于制造是分层完成，点过大就意味着层过厚，制造出来的零件边界将有非常严重的锯齿化或阶梯化问题，这种变形是任何零件测试所无法接受的。但是快速成形技术所使用的原料又相对复杂，尤其是SLS法和FDM法，因为材料的熔融过程并不是一个定量的线形过程，要控制材料的成形和堆积，往往需要非常复杂的装置以及特定的材料，这就导致了设备和材料成本过高。

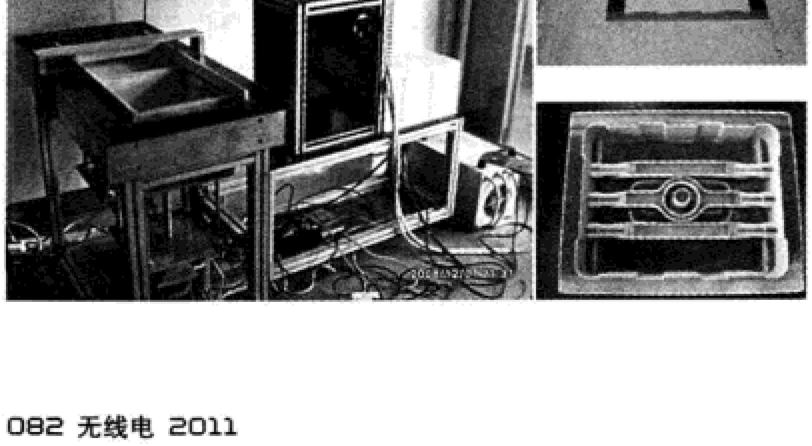
第二个问题就是空心零件的制作和成品的强度问题。快速成形并不意味着成品的脆弱，我们造出这些零件的目的还是为了进行各种性能测试，就算是拿来做展示，也不能一碰就瓦解。SLA法和LOM法需要特殊的支撑才能成型，没有支撑也就做不出空心零件，这都不符合零件设计的普遍要求。而SLS法和FDM法虽然可以满足，但对设备提出了更高的要求。

走向千家万户的3D打印

如果只是大企业应用，那么快速成形技术基本解决了这两个问题，因为工业设备可以允许较高的成本。但若要推广出去，真正成为家家户户都可以使用的“3D打印”，那么这两点技术瓶颈中的任何一个，都足以要了这项新技术的命，这也是为什么3D打印迟迟成不了独挡一面的技术学科的原因。

然而，就像前面所说的，快速成形技术的不断发展，或多或少也为3D打印解决了许多问题。从早期的粗糙的热熔蚀刻，到后来的树脂堆积法，3D打印在保持材料廉价的同时，一步一步在提高着成品的精度。在近30年的时间里，3D打印的梦想也从茫无头绪逐渐变得清晰和明朗。尤其是最近这10年，3D打印的普及化取得了突破性进展。

这里举两个旧事来说一下。早在2006年10月，美国康奈尔大学两位科学家伊夫·梅仑（Evan Malone）、霍德·利普森（Hod Lipson）就发起了一个专门研制低成本的家用3D打印机的项目。他们目前选用的方法还是类似FDM法的热熔沉积，选用特定的塑料粉末，熔化后像喷墨打印机一样喷射出去，目前已经可以“打印”出相对复杂的构件，产品的表现精度也可圈可点。而按照他们宣传的那样，“打印”出个拖鞋或是牙刷什么的，完全不成问题。



此外在2010年3月，英国Monolite公司的老板，同时也是发明家的恩里科·迪尼（Enrico Dini）向媒体宣布，经过4年的研发，他已成功研制出一种名为“D Shape”的大型3D打印机。D Shape采用的原材料是沙粒和镁质黏合液，像抹水泥一样，将混合物喷射出去并快速堆积成形。D Shape在一个6m × 6m的平台上工作，高度可升高至9m甚至12m，可以做立体的三维活动，其底部有300个伺服喷嘴，喷嘴间距为20mm。就如同它所使用的材料一样，D Shape主要应用在土建类项目之上，开发者宣称，它能够打印出一幢完整的建筑。但到目前为止，还只有个别艺术家青睐于它。

另外，也有消息说日本也开发出类似的打印机，使用特定的石膏粉末原料“打印”出了一个“密瓜”。

当然，无论是热熔塑料也好、新型“水泥”也好，都不能一劳永逸地解决精度问题和材料定型问题，而且制作出任意空心零件，对于现在的3D打印机们还是一个非常大的挑战。现在市面上能够完美做到这两点的3D打印机的价格，都已经接近工业领域所使用的快速成形机的价格，在10万美元以上，显然是太昂贵了。

此外，3D打印机在给传统制造业带来冲击的同时，也让不少工业设计者感到忧虑。因为这种普及化的快速制造技术，无异于为盗窃他人设计者大开方便之门。如何在让人人都可以自己设计、制造物品的同时，保护设计者的利益是一个比现在的反盗版、反山寨更大的课题。而且，还有人提出若是有人用3D打印机快速大批量制造武器怎么办，要如何去阻止。当然，现在讨论这些问题还为时尚早，毕竟如今的3D打印机就像20世纪80年代初的个人电脑一样，是稀罕的“高档玩具”。但就像PC流行后涌现出来的一系列问题一样，每个先进技术都必然会带来其负面影响，我们在关注新科技的同时，担心一下它们日后所会导致的问题，也未必是杞人忧天。

DFrobot ROB0051套件

一起来玩双足机器人吧！

◎孟庆彪

对于双足机器人，可能很多人都比较熟悉，大家在各种各样的比赛中看到的人形机器人、各种仿生结构的机械腿等，里面都包含双足机器人方面的东西。实际上，双足机器人相对于其他类型的机器人起步较晚，这方面的初期研究始于20世纪60年代。在90年代前尽管受到当时的微电子和计算机技术的限制，还是有很多人做出了杰出的工作。比如前南斯拉夫学者Vukobratovic等人提出的零力矩点（ZMP）理论，早稻田大学在1973年研制成功的WABOT-1，加藤实验室在1980年推出的WL-9DR双足步行机器人，还有Takanishi等人在1985年研制的WL-10RD与在1993年研制的WL-12系列等。

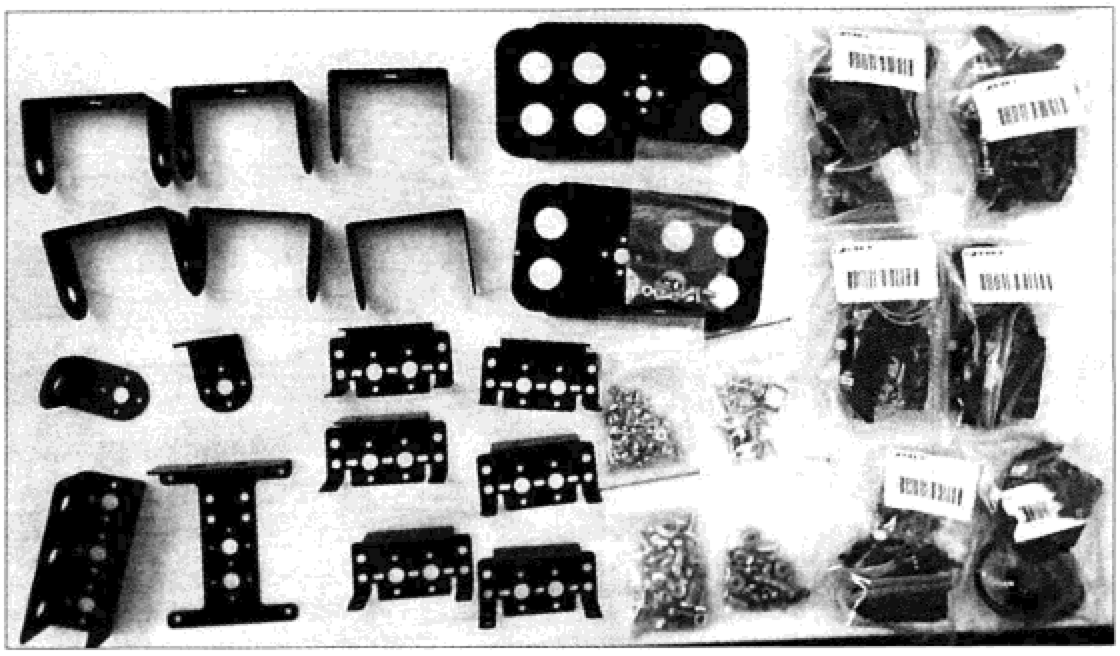


图1 双足机器人套件的所有机械零件和舵机

零件列表

名称	数量
沉头M3×6螺丝	8
带法兰M3×6螺丝	34
M3螺母	42
M3弹垫	48
镀镍M4×10盘头螺丝	24
M4螺母	24
M2.5自攻螺丝	24
红色拨动开关	1
DC2.0带螺纹电源座	1
DF05BB舵机	4
DF15MG舵机	2
舵机支架	6
L型支架	2
995U支架	6
F393Z杯式轴承	6
脚板	2
U型梁	1
电路板安装板	1
M3×10铜柱	4
M3×10螺丝	6
M3带帽螺母	6

进入20世纪90年代后，随着微电子和计算机技术的迅猛发展，仿人机器人技术获得了突破性的进展，机器人变得更加智能化，功能更加多样化。本田公司研制的P2机器人和闻名全球的ASIMO机器人，还有Boston公司的双足机器人Petman等，都是很好的代表。

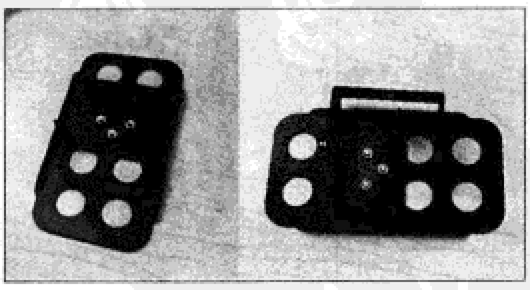
虽然个人爱好者目前很难直接接触到上面提到的那些非常先进的机器人，但是这并不能阻挡我们对机器人技术的热爱。千里之行始于足下，我们可以先从最简单的双足机器人套件玩起，了解基本原理和编程方法，将来再设计更为复杂的机器人也不是不可能的。

图1所示就是DFrobot出品的ROB0051的所有机械零件和舵机啦。

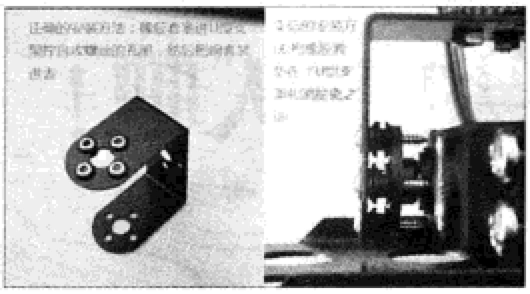
装配过程

对于整体的装配，我采用的是自下而上的顺序。装配时，每一个关节我都是把舵机留到最后才装，如果先把舵机装到舵机支架里的话，有很多螺丝会没办法拧进去。

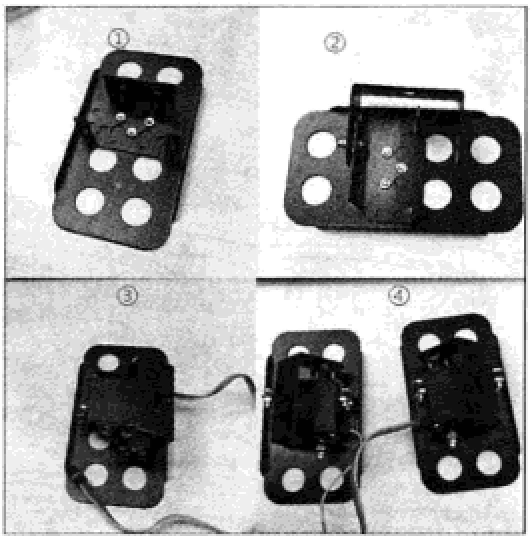
1 已经安装了舵机支架和U型支架的脚板。



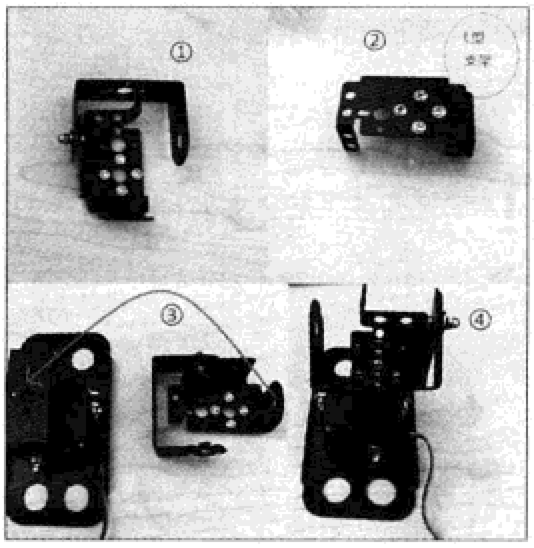
2 接着就是装舵机了。在装舵机的时候，我发现一个小小的问题，就是固定足部的两个DF15MG舵机舵盘的自攻螺丝太长，按照说明书中的方法安装，自攻螺丝会顶到舵机，引起舵机外观或者硬件的损伤，所以我采用了把橡胶套垫在U型支架和圆舵盘之间的安装方法。



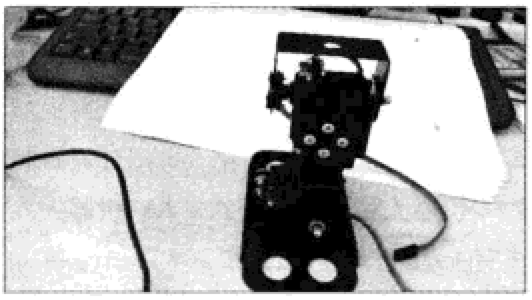
3 当我把舵机装进去后，发现忽略了一个很重要的问题，那就是舵机的角度。因为DF15MG和DF05BB舵机的可控角度在-90°～90°，安装时，舵机角度最好在0°附近，这样双足可以做出更加协调和平衡的动作。而我装上去的显然不是这样——踝关节只能向其中一边运动40°左右……所以我不得不拆掉，重新安装了一次。



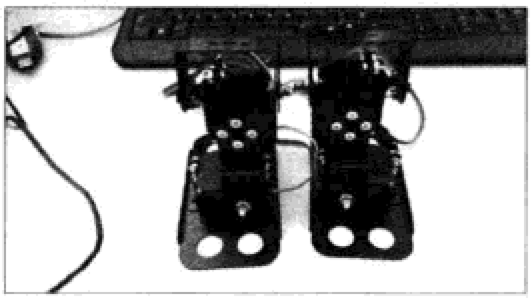
4 接着就是膝关节了。在装膝关节的时候，那两个L型支架就开始派上用场。我没有把L型支架直接安装到踝关节上，而是先把它装到了膝关节的舵机支架上。然后再把脚板和膝关节的整个支架连接上。



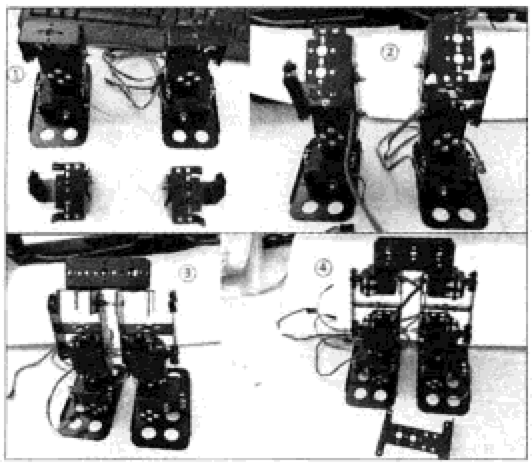
5 把舵机装上后，一条小腿就完成了。膝关节和大腿由于用的是DF05BB舵机，固定用的自攻螺丝不长，所以按照说明书中的方法安装就可以。



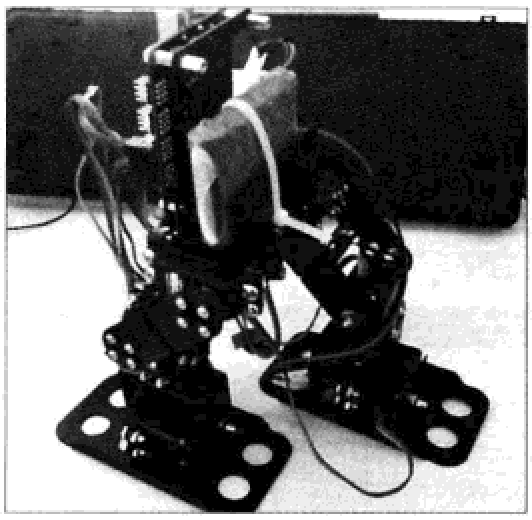
6 按照相同的顺序，把另外一条小腿也装好

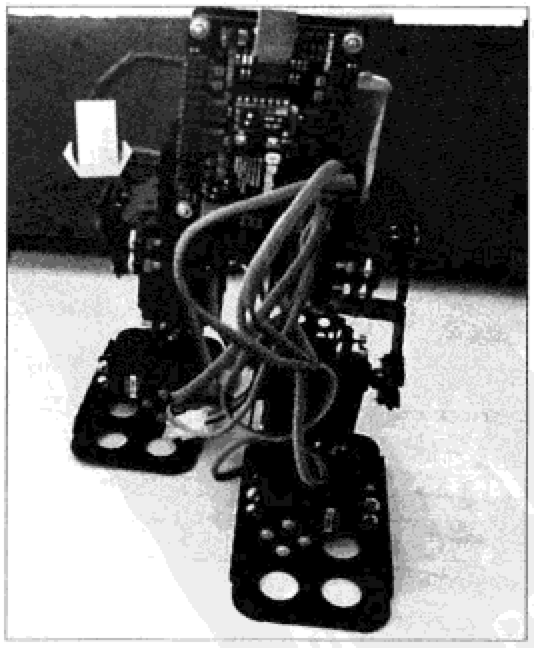


7 接下来就是大腿了，我还是先把舵机支架和U型支架连起来，再把它连接到小腿，最后装舵机。



8 把控制板支架和控制板装上后，整个双足机器人的机械部分就完成了。





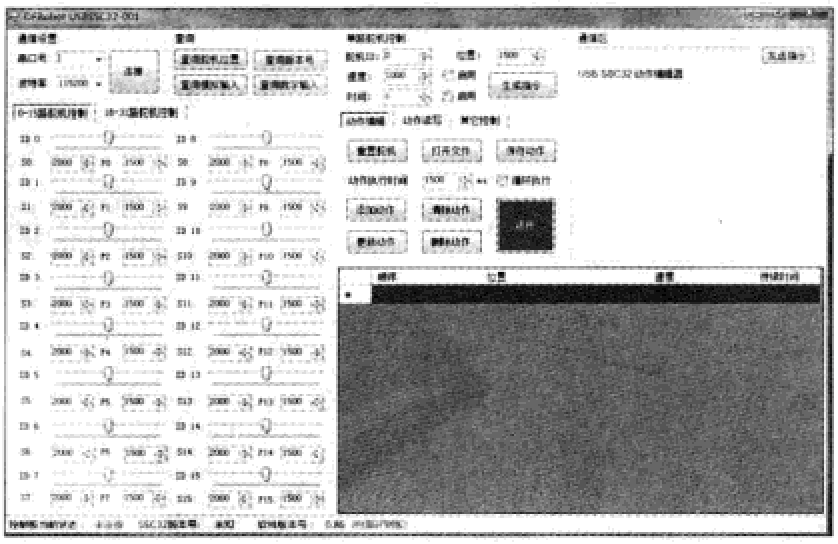


图2 调试软件界面

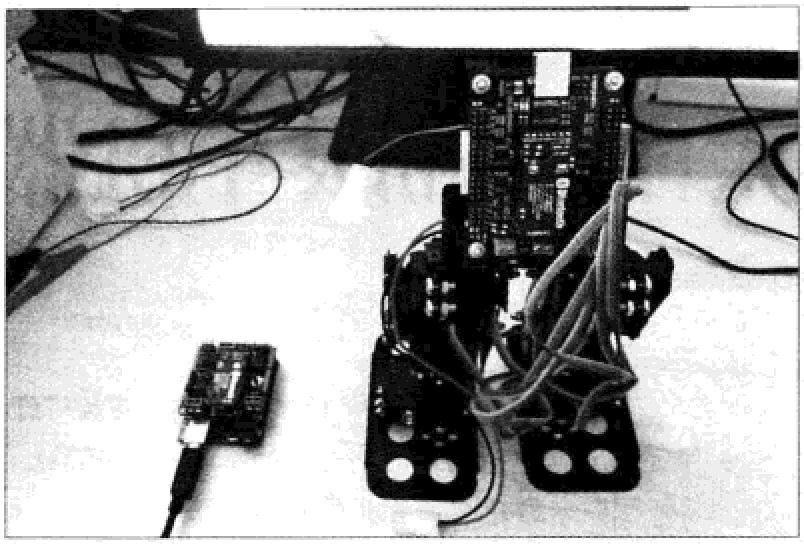


图3 Arduino、蓝牙模块和双足机器人

如何让双足机器人行走起来

机械部分安装完成后，接下来就是搞控制部分，让它行走起来。控制部分我用的是DFrobot 的32路舵机控制板，这款舵机除32路数字I/O口外，还包括一个支持蓝牙和APC220无线通信的扩展口，所以我决定让它脱机运动。至于它的步态，我首先用USBSSC32这款软件调试了双足的动作（具体的步态会在程序中说明），然后用蓝牙模块让双足机器人和Arduino之间进行无线通信，进而达到让双足机器人脱机工作的目的。

图2所示就是调试软件的控制界面，很简洁，控制、保存等功能一目了然。话说动作调试可真是一个考验耐心的活，得一遍一遍地试验，一次一次地改写数据，最终才能拿出一个比较好的角度。

控制程序

烧写到Arduino里的程序如右侧所示（每一个动作都是在600ms内完成的）。程序看上去很简单，因为原理也很简单，就是把调试好的角度、运行时间等数据烧到控制板里，然后让单片机对这些数据直接读取、执行。

为了让其协调地行走，一个完整的步态被分为了6个动作：①重心右移，②抬左脚，③放左脚，④重心左移，⑤抬右脚，⑥放右脚。循环执行这些动作，就可以实现持续行走了。

当然，在用蓝牙控制双足机器人之前，是要对蓝牙进行配对的，其过程在此略去不表。

思路扩展——双足机器人还能做什么

可能有人会说，双足机器人只是被动地执行控制板里的程序，只会这样行走，未免太单调了。其实我们还可以继续对其进行扩展，例如让它拐弯。为了能让它拐弯，我们只需要对上面的程序稍作修改就可以。把左脚和右脚跨步的距离设定出一定的步差，由于两脚步长不一样，就会在走的过程中实现拐弯效果。你还可以给它加一个陀螺仪，根据陀螺仪反馈的信息，可以实现自主行走。你甚至可以给它加一个视觉系统等，让它变成你的“侦察兵”。总之，尽情发挥你的想象力，你就可以利用简单的套件做出很酷的作品。

套件销售

价格：1344元/套＋15元(邮费)

内含：人型机械腿套件：590元，DF05BB舵机×6：354元，USB 32路舵机控制板：255元，5号充电电池×5：50元，智能充电器：90元，USB线：5元。以上配件亦可单独购买。

购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话。

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

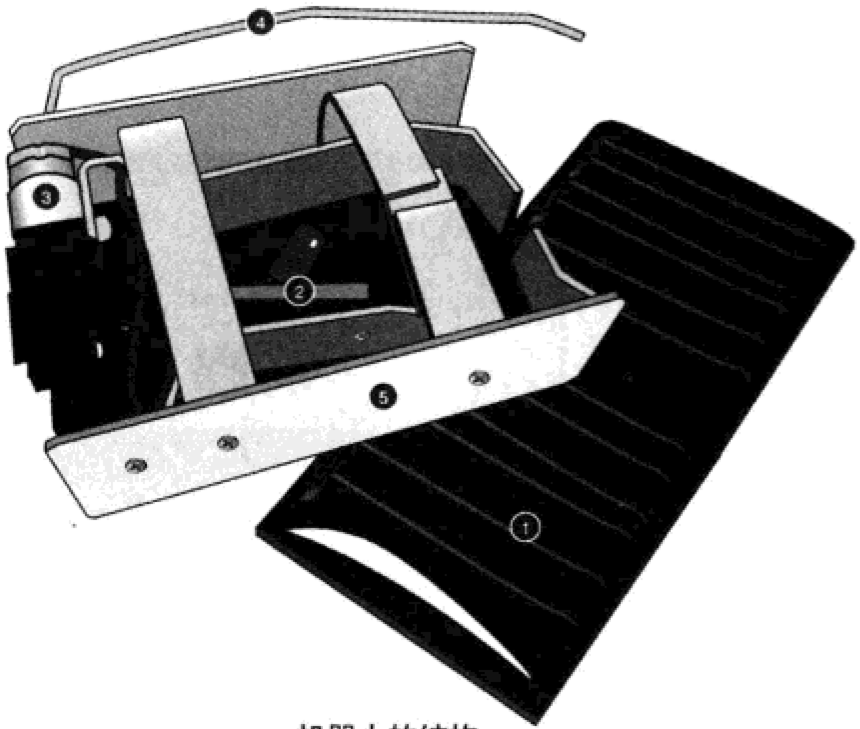
源程序

```
void Ready()//初始化函数，初始化到站立姿势
{
  Serial.println("#0 P1260 #1 P1508 #2 P1492 #3 P1198 #4 P1756 #5 P1415");
  delay(2000);
}
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Ready();
}
void loop()
{
  Serial.println("#0 P826 #1 P1508 #2 P1492 #3 P919 #4 P1756 #5 P1415 T600");//重心右移
  delay(400);
  Serial.println("#0 P981 #1 P1167 #2 P1151 #3 P919 #4 P1756 #5 P1415 T600");//抬左脚
  delay(400);
  Serial.println("#0 P1260 #1 P1167 #2 P1151 #3 P1198 #4 P1415 #5 P1071 T600");//放左脚
  delay(400);
  Serial.println("#0 P1539 #1 P1172 #2 P1151 #3 P1609 #4 P1415 #5 P1071 T600");//重心左移
  delay(400);
  Serial.println("#0 P1539 #1 P1508 #2 P1492 #3 P1477 #4 P2097 #5 P1756 T600");//抬右脚
  delay(400);
  Serial.println("#0 P1260 #1 P1849 #2 P1833 #3 P1198 #4 P2097 #5 P1756 T600");//放右脚
  delay(400);
}
```

PVC-Robot 6号：光能比目鱼

太阳能翻跟斗机器人

◎Plenilune ◎插画：刘少冉



机器人的结构

❶ 太阳能电池板
❷ 控制电路板
❸ 带齿轮减速箱的微型电机
❹ 旋转摇臂
❺ PVC框架

PVC-Robot系列是用PVC材料制造、贯彻“低成本、易制造”理念的机器人，本刊已经在2011年第2期、第4期、第5期中分别介绍了该系列的1号机——避障机器人、3号机——太阳能滑行机器人和4号机——太阳能转动机器人，本次介绍的是6号机——太阳能翻跟斗机器人。

在PVC-Robot系列中，不少机器人是采用同样的电子电路进行行为控制的（即内在是一样的），但是外形和移动的方式却有较大不同。通过它们，我们可以了解更多DIY机器人的驱动方式，学习关于机械以及运动相关的知识。

PVC-Robot 6号“光能比目鱼”是一种行动方式非常幽默的机器人。“比目鱼”这个名字来自于英文Turbot，为了尊重外国朋友的原型设计，所以直接翻译过来，但从其运动状态来说，我觉得叫“翻跟斗机器人”更为形象一点。

生活在海洋中的比目鱼是一种很有意思的鱼，它们的两只眼睛不是长在身体两侧，而是长在身体的同一侧的，而且它们的身体一般是平躺在海底的，向上的一侧同时长着两只眼睛，也就是说，两只眼睛是同时朝上向着海面方向的。

有点类似的是，这款“光能比目鱼”机器人的身体也是平躺在地面，向上对着阳光的一面有太阳能电池板。但是与真实的比目鱼不同的是，这款机器人的底面也有太阳能电池板，只不过在同一时刻只有一面的太阳能电池板是有效工作的。它靠一个转动的摇臂不断地翻着跟斗向前移动，每次翻跟斗，朝上对着阳光的太阳能电池板就可以向机器人提供用来移动的电能。

■ 效果视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjU2OTg4MDI0.html

基本原理

1. 驱动原理

“光能比目鱼”虽然外形特征与比目鱼有点类似，但是其运动方式却与比目鱼不同。它主要依靠一个电机带动转动的摇臂改变支撑身体的角度，不断地“翻跟斗”前进。

因为机器人身体两侧都有太阳能电池板，所以无论支撑身体成什么角度，都有一侧（朝上的一面）的太阳能电池板能够对着阳光，可为驱动摇臂的电机提供电能。

2. 机械结构

要实现支撑身体的重量翻跟斗，直接用电机驱动摇臂，力量肯定是不足的。因此，我们用了一个齿轮传动机构。

齿轮传动机构，就是两个齿轮互相

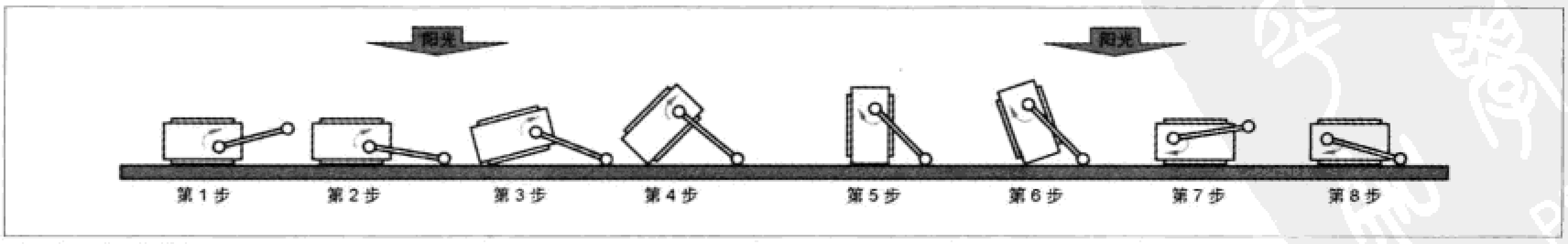


图1 驱动结构原理图

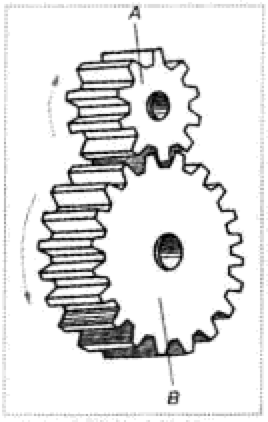


图2 齿轮传动机构

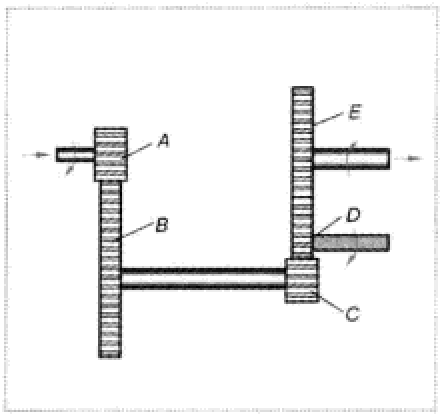


图3 齿轮箱

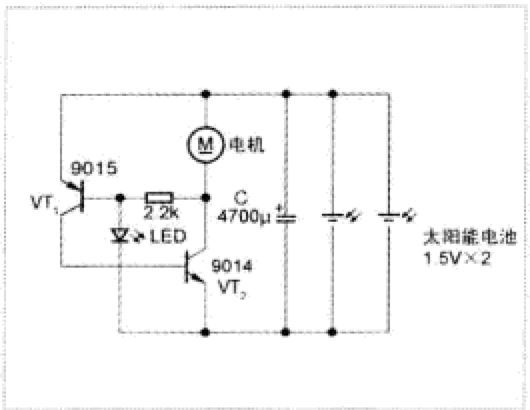


图4 光能比目鱼的电路图

咬合在一起（齿的大小一样），其中一个主动转动，带动另外一个被动转动。主动转动的称为主动轮，被动转动的称为从动轮。主动轮一般连接电机作为动力输入，而从动轮则作为动力输出，两个齿轮之间的旋转方向正好相反。

如果主动轮的直径比较大（齿数多），则主动轮转一圈，从动轮就会转动很多圈，即实现了"转速增加"。如果主动轮的直径比较小（齿数少），则主动轮转很多圈，从动轮才会转一圈，即实现了"转速减少"。

两个齿轮之间的转速比用i表示，则：

$$i=\frac{\text{主动轮转速}}{\text{从动轮直径}}=\frac{\text{从动轮齿数}}{\text{主动轮齿数}}=\frac{\text{从动轮转速}}{\text{主动轮直径}}$$

旋转运动传递的动力，称之为"扭矩"，用字母T表示。一对互相咬合的齿轮A和B，假如转速分别为$n1$和$n2$，而各自的扭矩分别为$T1$和$T2$，用$N1$和$N2$分别表示两个齿轮的能量，则：

$$N1=n1\times T1 \qquad N2=n2\times T2$$

而齿轮传动实际上就是进行能量的交换传递，假设在理想状态下，齿轮之间交换的能量没有损失，则：

$$N1=N2$$

$$n1\times T1=n2\times T2$$

$$i=n1/n2=T2/T1$$

总结来说，两个互相咬合的齿轮，转速小的那个扭矩大，而转速大的那个扭矩小。也就是说，要获得高扭矩，就必须用减速的齿轮传动机构。

在实际应用中，齿轮传动机构一般不会仅有两个齿轮，而是有多个齿轮，即"齿轮箱"，如图3所示。

"光能比目鱼"的摇臂并不需要转动得很快，但是必须有足够的力量（扭矩），利用齿轮传动中的减速传动结构——齿轮减速箱，经过多个齿轮的传递减速，就可以把普通电机输出的"高转速/低扭矩"，转变为"低转速/高扭矩"。

3. 电路原理

本项目的控制电路和PVC-Robot 3号、4号基本相同，唯一的区别是要使用两组太阳能电池。每组两片1.5V电池串联到一起，再把两组并联起来，同一个时间只有一组提供电源。

准备工作

本项目需要的器材主要包括：PVC线槽、电机（带减速齿轮箱）、太阳能电池、电阻、电解电容、发光二极管、三极管、螺丝、螺帽等。主要的器材都可以从网上购买，表1列出了主要器材的采购预算与成本，由于有些器材是批量采购的，而制作一个机器人用不了那么多（剩下的可以留在以后的其他项目上），所以另外加了一项成本折算。

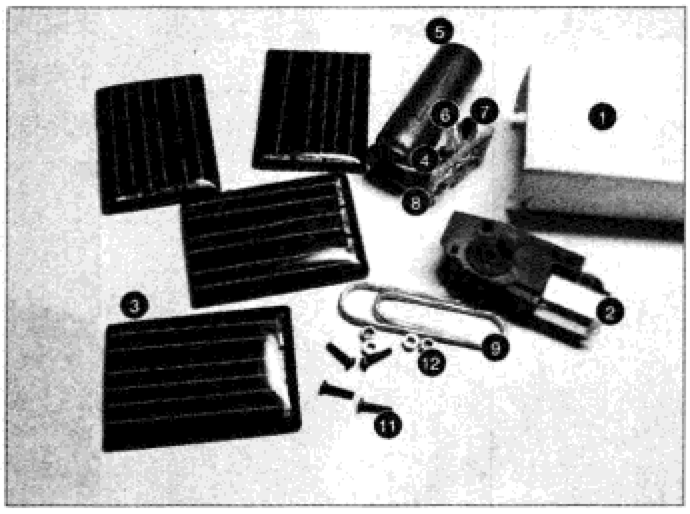


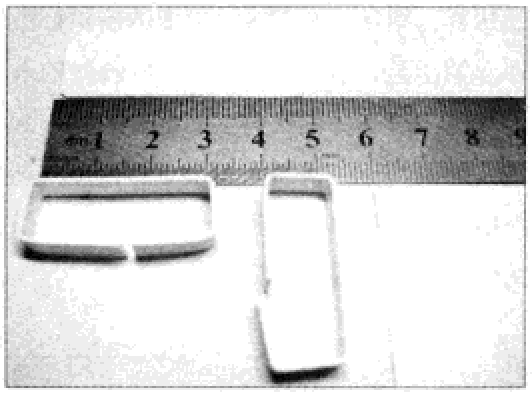
表1　制作所需的材料与成本

名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
❶PVC线槽	2.5cm宽	1段	4元 / 0.5元	主要结构材料
❷小电机	带齿轮减速箱的微型电机	1个	3.5元	动力
❸太阳能电池	1.5V	4片	4.4元	电源
❹电阻	2.2kΩ	1个	8元 / 0.03元	电子元件
❺电解电容	4700μF	1个	0.4元	电子元件
❻发光二极管		1个	0.08元	电子元件
❼三极管	9014、9015各1个	2个	4.5元 / 0.15元	电子元件
❽电路板	电路板/实验板/万用板/洞洞板	1块	1.5元	
❾曲别针	标准钢丝文具别针	1个	1元 / 0.01元	摇臂
❿M2垫片	孔径2mm	1个	3元 / 0.03元	
⓫M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	9颗	4元 / 0.36元	固定PVC材料
⓬M1.2螺母	孔径1.2mm	9颗	15元 / 1.35元	固定PVC材料
合计			49.38元 / 12.31元	

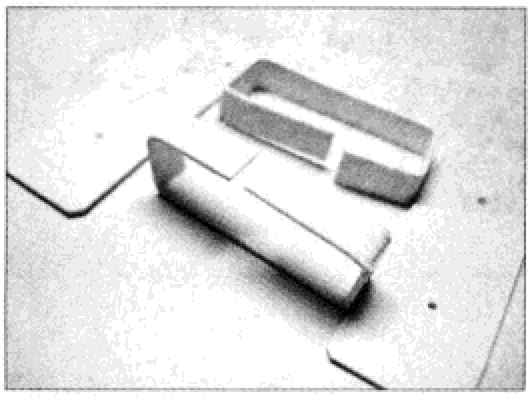
制作过程

1 由于本项目的控制电路与PVC-Robot 3号基本相同，有关电路焊接的说明不再重复，如有需要，请参考本刊2011年第4期。

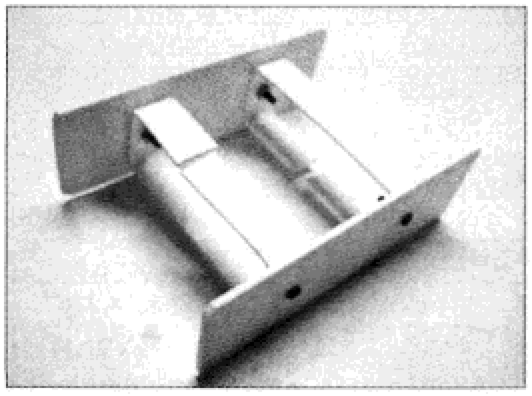
2 把PVC线槽用剪刀裁剪并用尖嘴钳折成如下形状和尺寸，制成支架和两侧的挡板。



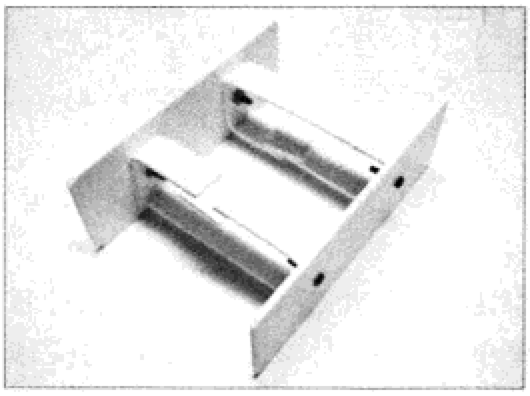
3 用1mm的钻头（或锥子）把挡板和支架打好安装孔。



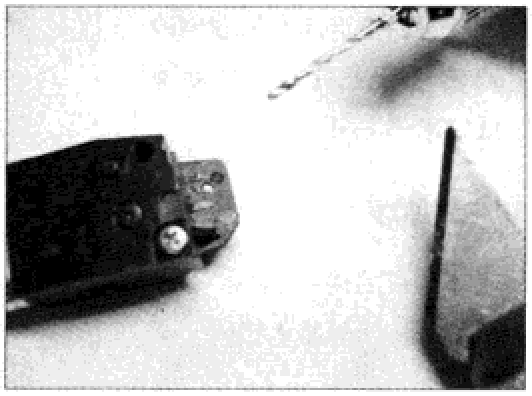
4 用M1.2×5mm的螺丝和螺母把支架和挡板固定起来。



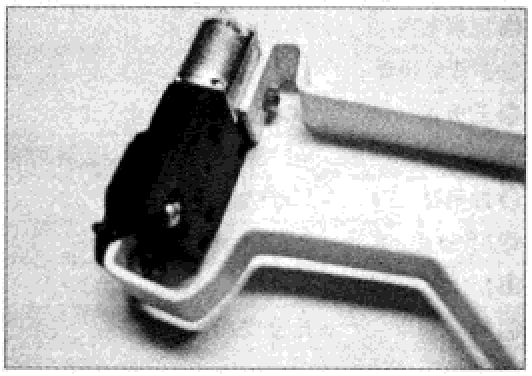
5 剪两块PVC方片，用502胶把支架中间的缺口连接粘贴起来。



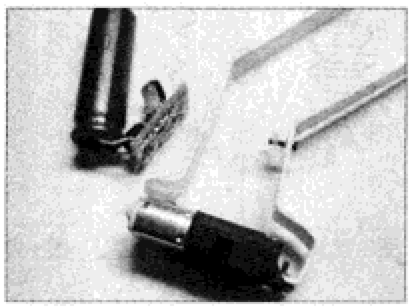
6 对于带减速齿轮箱的小电机，要进行一点改装。现成的齿轮箱边上的支架已经带一个安装孔，另外一端还要再打一个安装孔。用刻刀或者划纸刀把齿轮箱边上支架的三角形褶脚切掉，然后用钻头打一个安装用的小孔，也可以把锥子或别针用电烙铁加热后打孔。



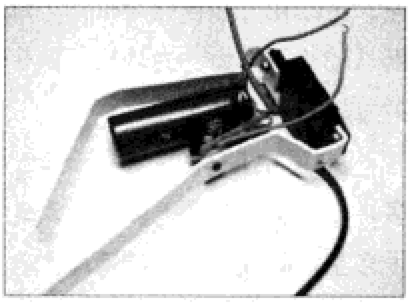
7 把PVC线槽剪成长方条，再用尖嘴钳折成如下形状，并用M1.2×5mm螺丝和M1.2螺母固定在齿轮箱上，做成电机支架。



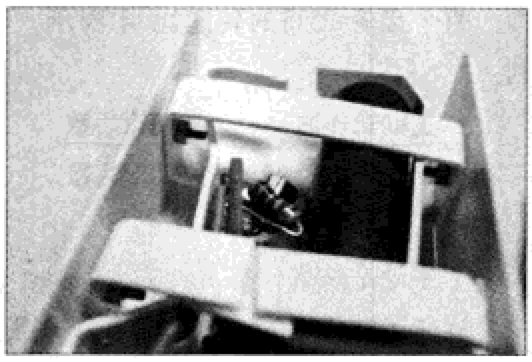
8 把电路板用螺丝、螺母安装到电机支架上。



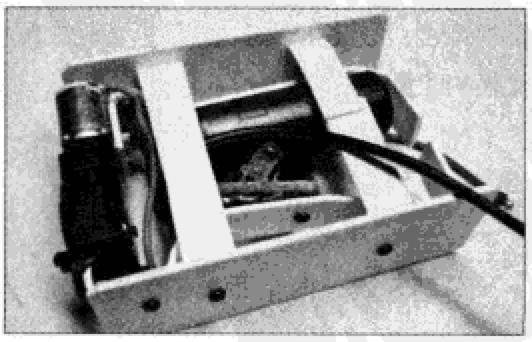
9 把电机支架靠近电机的一端的两侧用小电钻各打一个安装孔（如下图黑色电线处所示）。



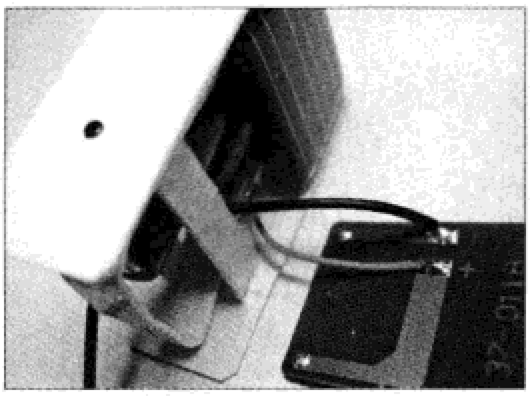
10 再把电机支架装入支撑骨架中。



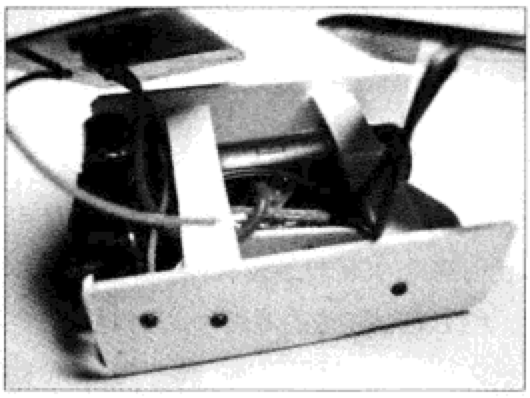
11 把电机连接到电路板上（绿色电线），把电机支架用螺丝、螺母固定在支撑骨架的侧挡板上（见下图侧挡板最左边的固定螺丝）。



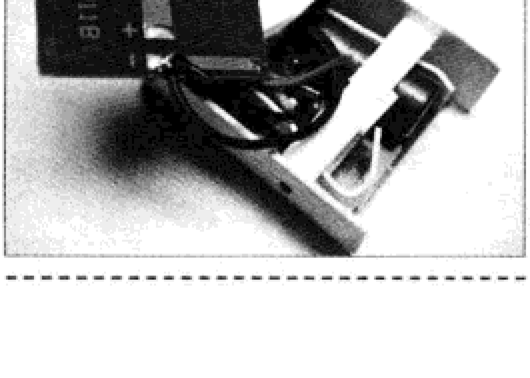
12把电路板的正极电线（红色）焊接到一块太阳能电池板的正极上，把电路板的负极电线（黑色）焊接到另外一块太阳能电池板的负极上。



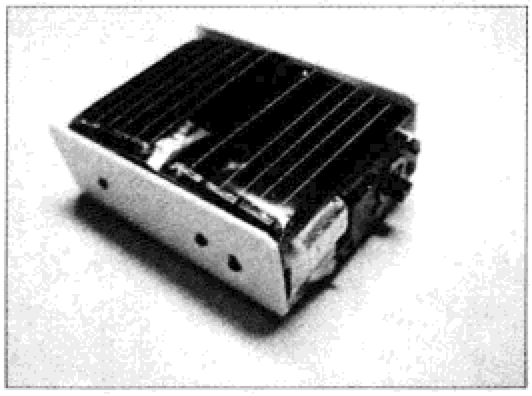
13用电线（绿色）把两片太阳能电池板串联焊接起来。在支撑骨架的内部横向支架上贴上双面胶，把太阳能电池板固定在上面（注意避开太阳能电池板背面的焊点）。



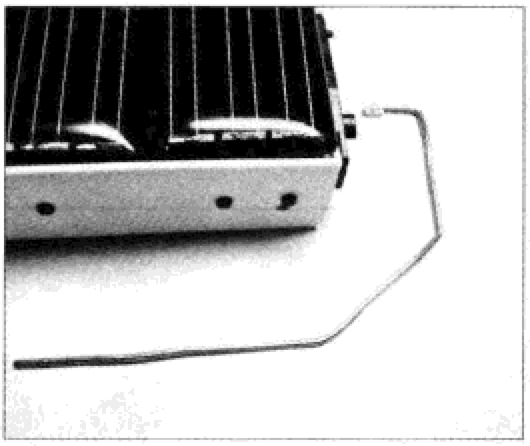
14把一侧的两片太阳能电池板用双面胶粘贴在支架上，然后再粘贴另一侧的两片太阳能电池板。注意每侧的两片太阳能电池板是串联后作为一组的，然后两组再并联连接到电路板上。



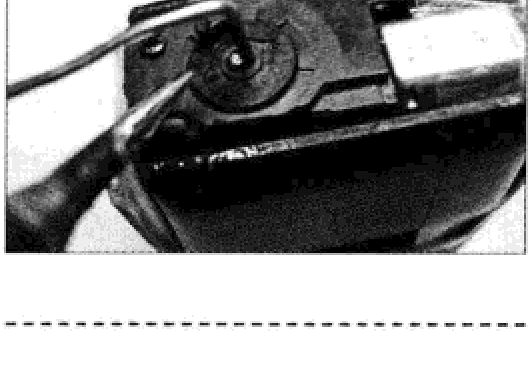
15用灯光测试，确保电路能正常运行，然后完成整体的封装。用透明胶布把太阳能电池板表面包一圈，加固一下。



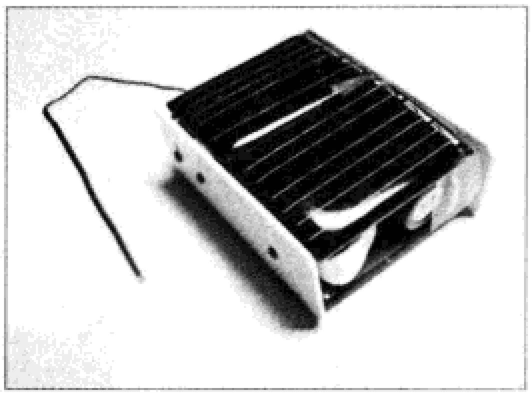
16用曲别针折成旋转摇臂，要注意，连接齿轮箱的一段要再弯折一个小段。

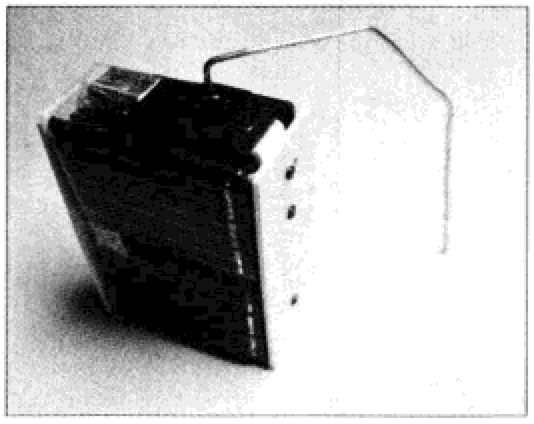


17用烙铁对曲别针连接齿轮箱一段进行加热，然后趁热把曲别针插入齿轮箱转轴的小孔中，冷却后，曲别针就与齿轮箱的转轴固定连接起来了。



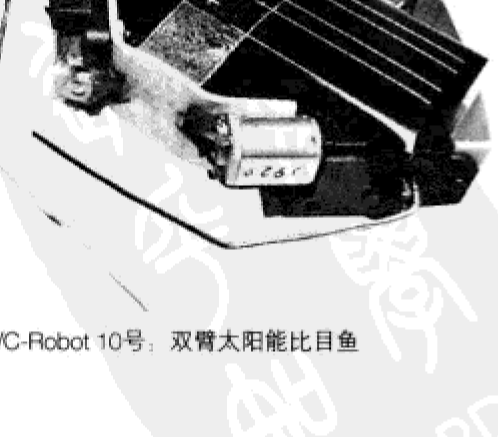
18安装好曲别针摇臂，“光能比目鱼”就制作完成了。





扩展完善

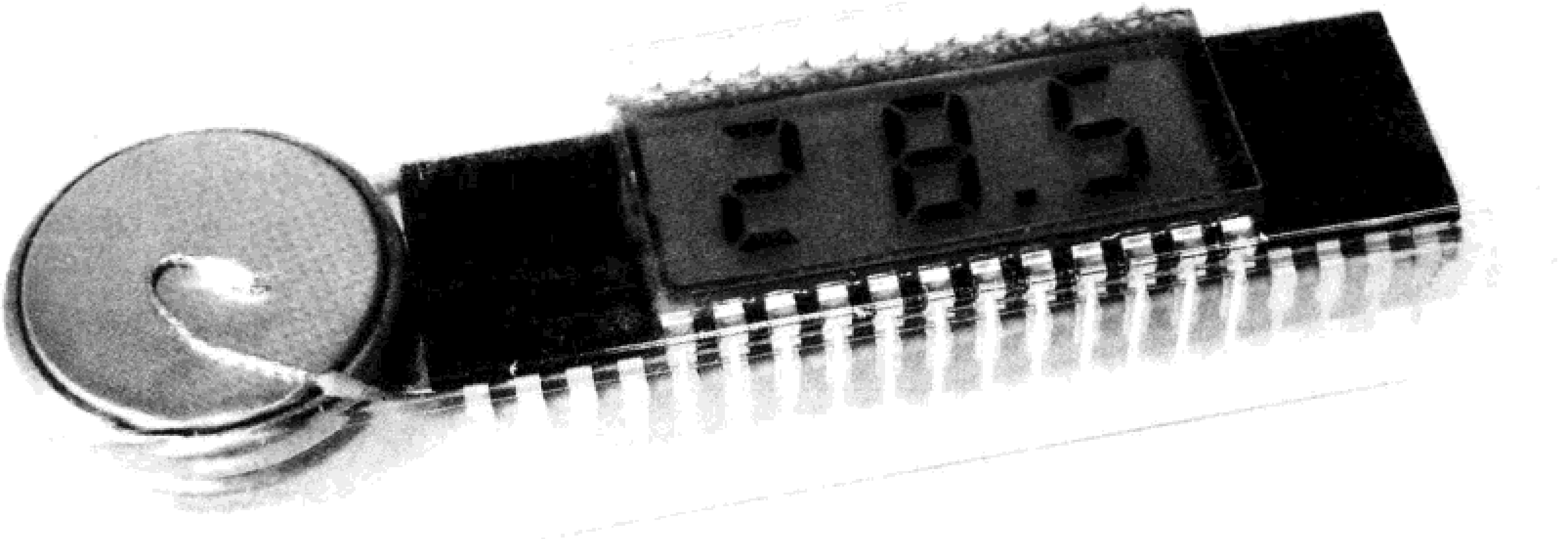
作为升级完善的版本，可以再增加一组同样的电路，并在现有摇臂的另一面再增加一个带减速齿轮箱的电机和一个摇臂，而两侧的太阳能电池组各连接其中的一组电路，最后做成一个拥有双摇臂的翻跟斗机器人。



PVC-Robot 10号：双臂太阳能比目鱼

制作RT3电子温度计

◎杜洋



大家好，好久没有和大家见面了。有朋友问，这么长时间没写稿，你干什么去了？其实我这段时间什么也没干，就一直呆在那里了。我发现现在的自己越来越懒，想法越来越多，可是总是不愿意动弹。作为一名电子制作爱好者，我这样的习惯很不好。从现在开始，我还是要坚持每月写一篇稿子，同时还要保证文章的质量和创新。请大家来监督哦！

虽然懒于制作，可是我还是经常去哈尔滨的船舶电子大世界逛逛，在熟得不能再熟的市场里寻找新鲜玩艺。话说一天下午，我来到专卖LCD屏的店里。我和老板已经熟悉，聊了一会天之后，我就在他的货架上翻来翻去。要知道当你可以在一家店的货架上寻找新奇玩艺是很让人兴奋的事情。因为满满的架子上有着许多的可能，我们可能找到刚刚进货的新款产品，也可能找到多年未见的老古董，还可能找到自己一直在找却总也找不到的东西。对电子爱好者来说，那满满的货架上，都是尚未开封的生日礼物，既惊喜又神秘。

“哇！好漂亮呀！”我不由得喊了出来。眼前一排亮晶晶的东西，如水晶般纯洁、闪着光。这是一片薄薄的玻璃片，两侧引出一些针脚，乍一看和我们常见的DIP封装没有什么区别。我取下一片问老板这是什么。老板说这是3位的液晶片，可以显示3个数字和小数点。我听老板这么一说就没了兴趣，你想呀，3位数字能做什么呢？时钟显示至少需要4位数字，3位显示我想不到能做什么。不过因为它太漂亮了，我还是决定买2片研究研究。如果可以驱动的话，说不定以后可以找到4位的呢。

到家后我随手把液晶片放在桌子上，几天过去，我也一直没有理它。有一天吃过晚饭，闲闲地坐在电脑旁想事，忽然看到这块液晶片，于是拿在手里把玩。不一会我下意识地又拿来一块40脚的单片机把玩。当我把这两个东西放在一起的时候，奇迹出现了！它们竟然可以天衣无缝地插在一起，达到屏、机合一的境界。哈哈；原来除了mini1608时钟的LED屏之外，我还可以有LCD屏的精简制作。于是大脑开始高速思考，经过几天的开发，一个创新制作诞生了！

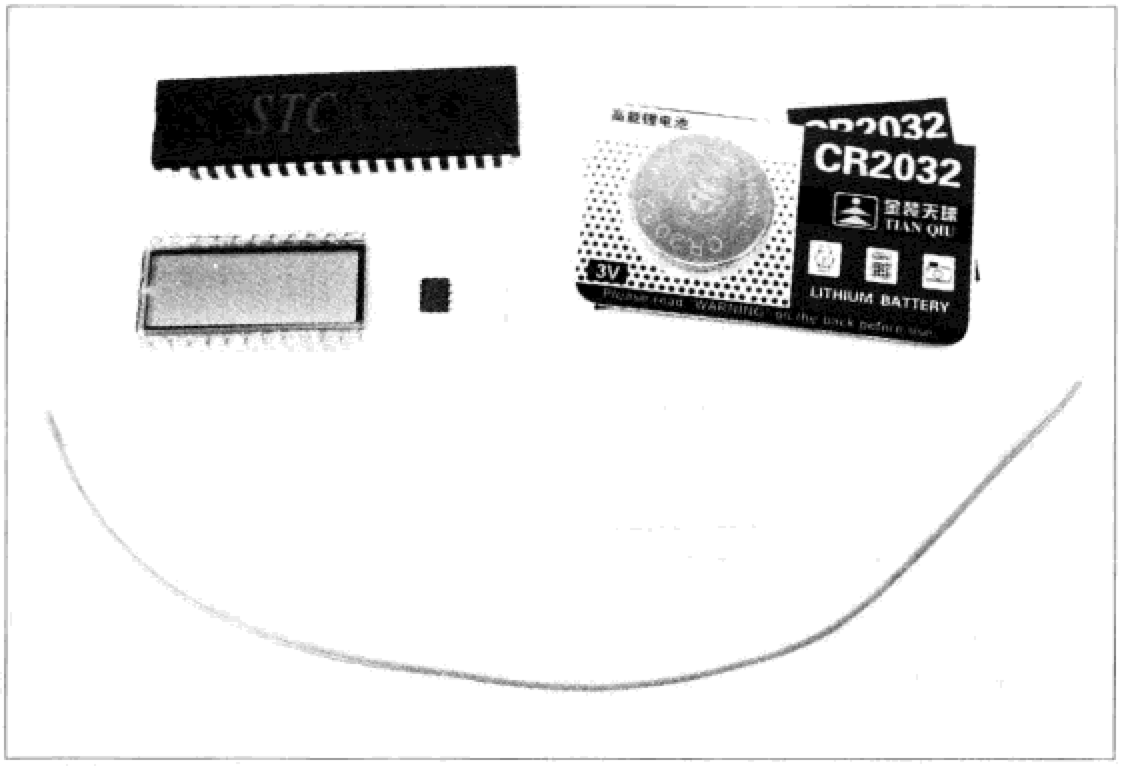
制作RT3

这个制作在设计时是反向思考的，也就是说是先有了单片机和液晶屏组合的可能，才去想这个设计可以制作什么作品。3位数字用来显示时钟不行，可是显示温度却是很好的选择。加上我最近新驱动起来的采用SOP8贴片封装的LM75A-6504温度传感器芯片（以下简称LM75），这款电子温度计将会是电子爱好者很容易仿制的精简制作。我为这款温度计取名Real Temperature 3电子温度计，简称RT3！RT3的重点技术就是***如何用没有内置LCD驱动电路的普通51单片机来直接驱动LCD屏***。听上去好像很高深，其实并不比驱动LED点阵屏复杂。想知道是怎么做到的吗？先保密，请先带着那种对新鲜技术的热情开始RT3的制作吧。

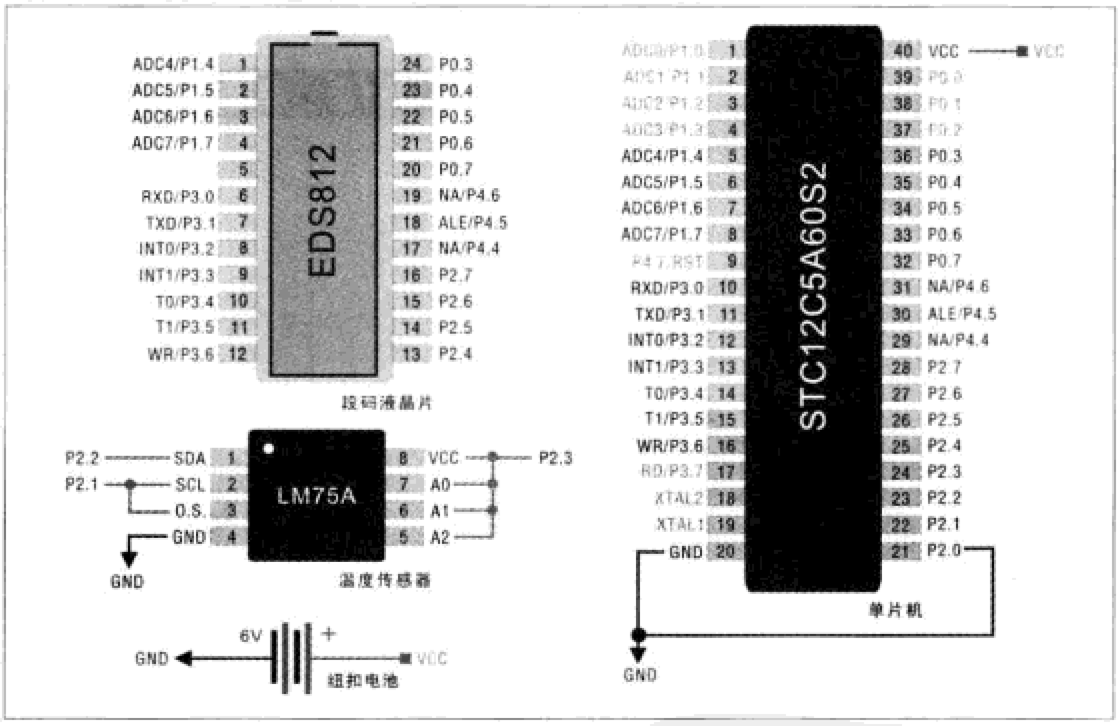
制作RT3所需要的材料不多，单片机、温度传感器和段码液晶片是最主要的，其他东西可以在周边找代替材料。没有塑料管，可以用胶带粘着，电池可以用3节5号电池或者其他充电电池代替。元器件少，并不意味着就可以随便制作，显示温度只是最基本的要求。为什么你不去买一个现成的温度计，正是因为我们想发挥创造和享受制作的乐趣，基本功能之外的设计与制作才是能表达我们能力的部分。越简单越要精心地设计，让你的制作更精致、美观。

RT3电子温度计特色

- 精简电路设计，极少元器件
- 液晶片直插结构，较少焊接数量
- 使用单片机内部R/C振荡器，无需外部晶体
- 温度传感器可采集 -25 ~ 125℃温度数据
- 单片机、温度传感器、液晶片均为工业级产品
- 单片机和温度传感器均采用省电模式，功耗较低



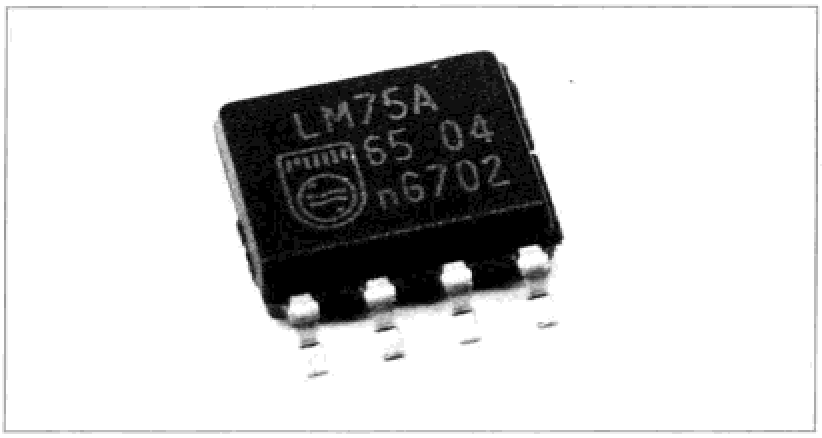
所需元器件



电路原理

元器件清单

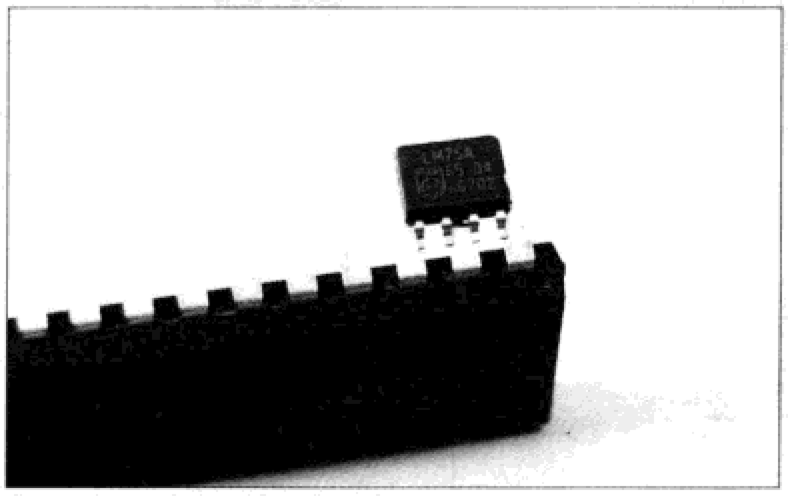
品名	型号	数量（个）	参考价格（元）	说明
单片机	STC12C5A60S2	1	12	不能用其他型号的单片机替代
段码液晶片	EDS812	1	18	
温度传感器	LM75A	1	3	
纽扣电池	CR2032	2	2	或用3节5号电池代替
导线		1		
电阻引脚		1		可以用其他金属引脚或导线代替
塑料管		1		DIP40脚单片机的包装管
微动开关		1		用于增加开关控制功能



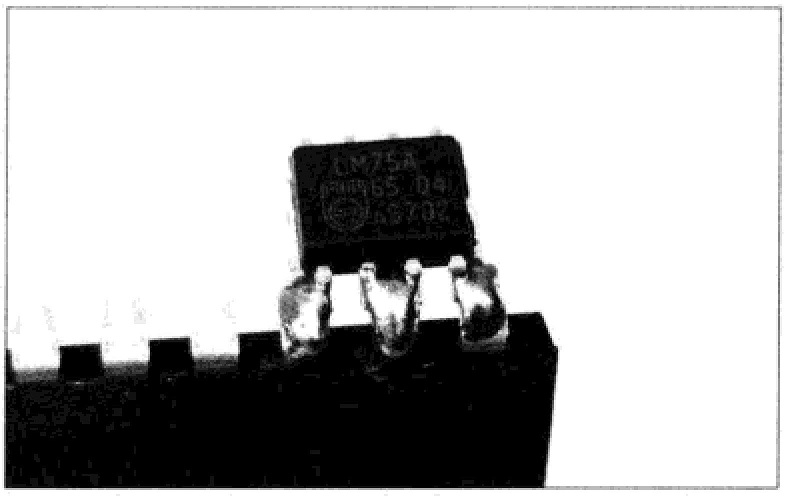
LM75温度传感器芯片

常看我文章的朋友必定对STC单片机很熟悉了，液晶片怎么驱动，下面的文字里我会单独大做文章。这里我先介绍一下LM75吧。一提到温度传感器，大多数电子爱好者会想到DS18B20，但是再让大家说出一款与之类似的传感器，我想能说出来的并不多，这也可能是它如此热销的原因。先入为主和保守的思想局限了更多的可能，我采用LM75也是为了打破这一思想上的局限。LM75也是数字式温度处理，也有小体积和低功耗的特点，但和DS18B20相比，它在使用上有其优势所在，首先DS18B20是单总线通信，需要单片机端备有很高的时钟精度，而且单总线上挂接多个传感器在开发上也比较麻烦。LM75采用I^2C总线通信，对时钟精度没有要求，用单片机内部的R/C时钟源都可以驱动，且其价格只有DS18B20的一半。再从编程的难度和芯片附加功能上看，两者相差不多。以我的经验来看，DS18B20的温度算法很难理解，涉及负温度显示时，不明白温度算法也很难使用。而LM75的温度算法非常简单，只要会算加、减法，基本上就可以明白温度算法。对初学单片机的朋友来说，这算是很好的入门器件。LM75的1、2引脚是I^2C总线的接口，第3脚是温度报警输出，第5～7脚是I^2C总线的地址选择位。在RT3的制作中，所有的地址选择位都是接在VCC上的。LM75的工作电压范围较宽，不管是5V电源还是3V电源都可以驱动。我认为唯一美中不足的是LM75没有DIP封装，对于电子爱好者来讲，这种封装应用在制作中是有一些困难的，还好RT3的制作考虑到了这一点，把LM75直接焊接在单片机的引脚上，只要细心，焊接并不困难。

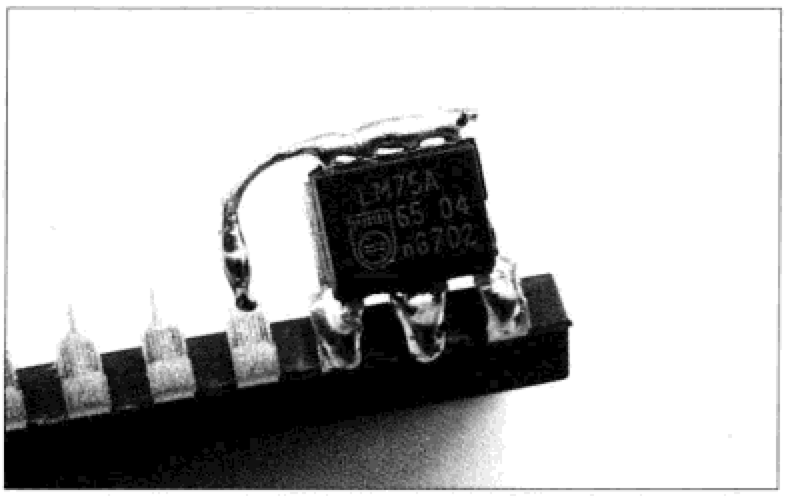
第1步 焊接LM75



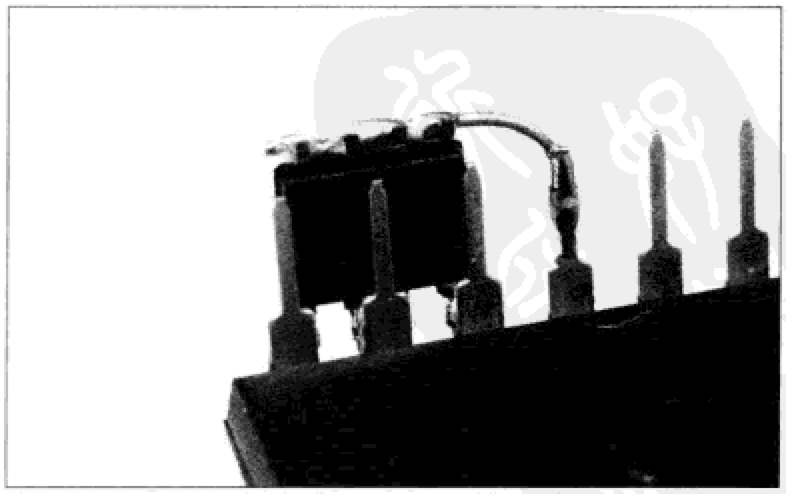
将LM75如上图的样子放在单片机的第21～23脚上



将 LM75 的第 1 ～ 4 脚如上图焊接在单片机上面，注意 2、3 脚合在一起焊接

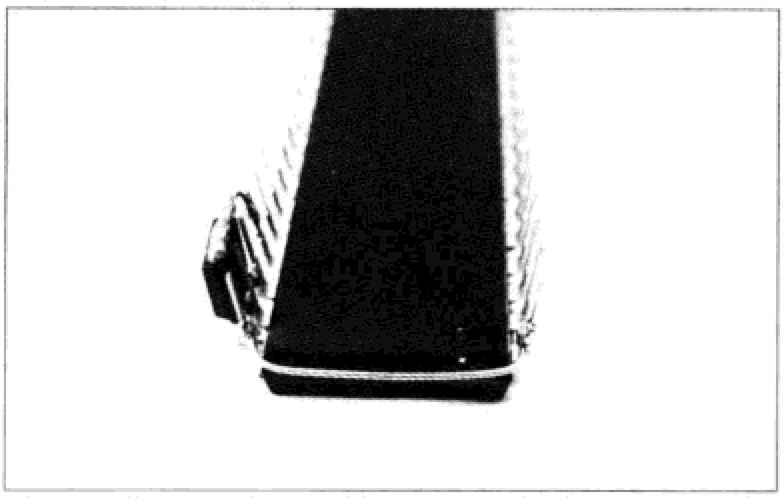


剪一段普通直插电阻的引脚，把LM75另一边的第5～8脚焊接在单片机的第24脚上

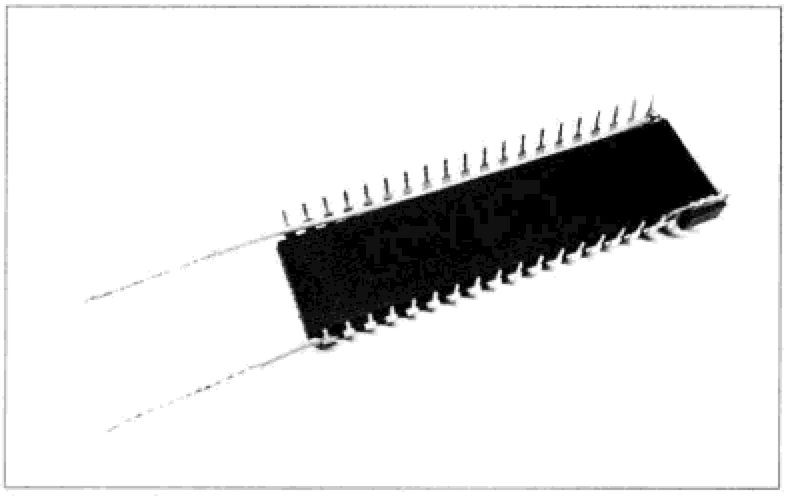


注意LM75背面到贴在单片机引脚上，引脚间掌握好合适的距离

第2步　焊接导线

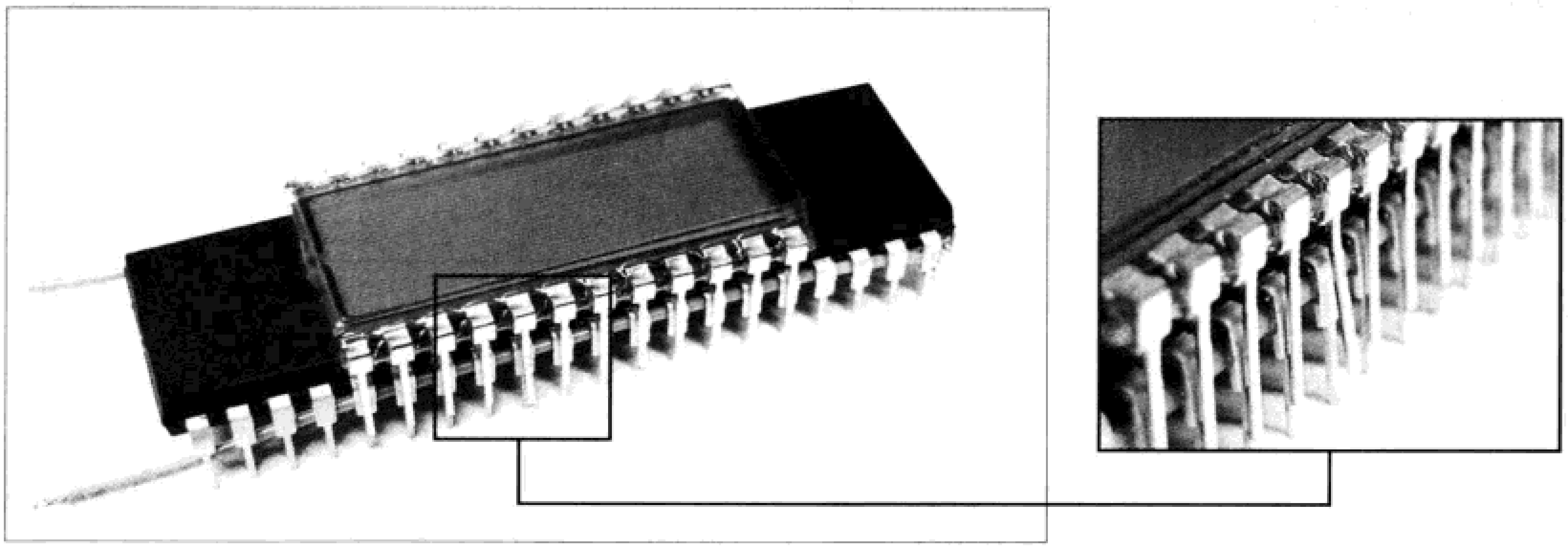


把单片机一侧的第20脚和第21脚用导线连接，目的是让LM75的第4脚接地



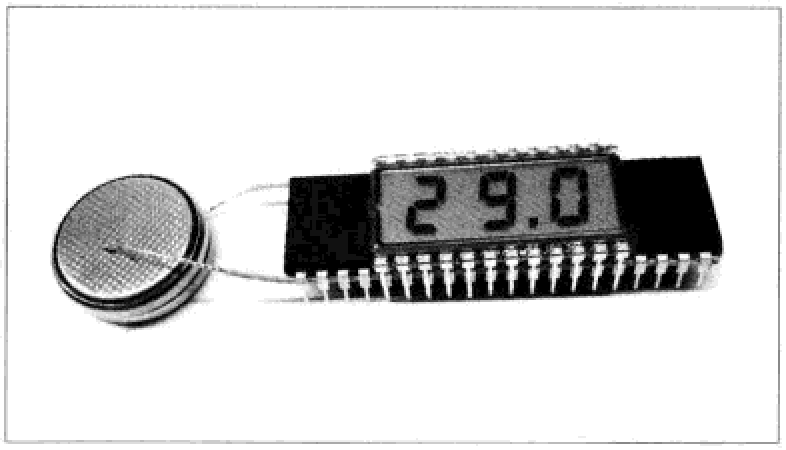
把2根导线焊接在单片机的第40脚和第20脚上，导线另一头镀锡，用于连接电池

第3步　插接液晶片



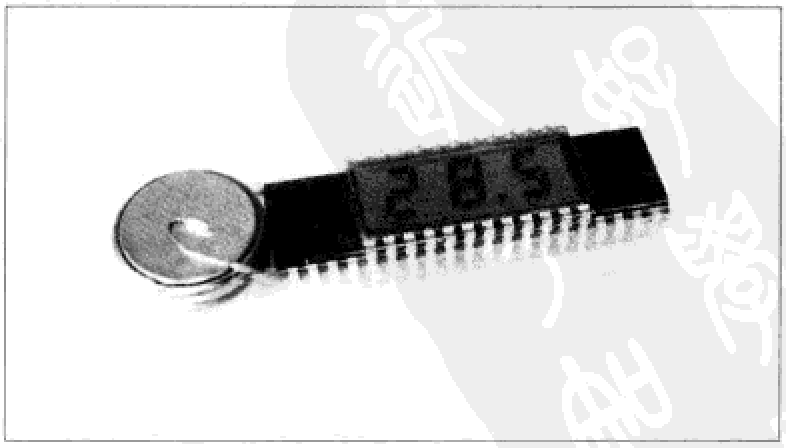
把段码液晶片如上图的方向对齐插到单片机的背上，注意尽量让相连的引脚接触紧密。将段码液晶片的第5脚微微翘起，和单片机的第9脚断开。因为单片机第9脚是复位接口，不应该与液晶片引脚连接。真是无巧不成书，如果液晶片第5脚对应的是某个数字位上的段码，断开它必然会导致那个段码不能显示。但非常巧合的是液晶片第5脚对应的正是第1位数字后面的小数点，而这个小数点在显示温度时用不到。哈哈，你认为这是巧合还是上天的安排呢？

第4步　安装电池



将2节纽扣电池叠在一起接在电源引线上

第5步　安装外壳



把整个电路部分塞到塑料管中，塞紧

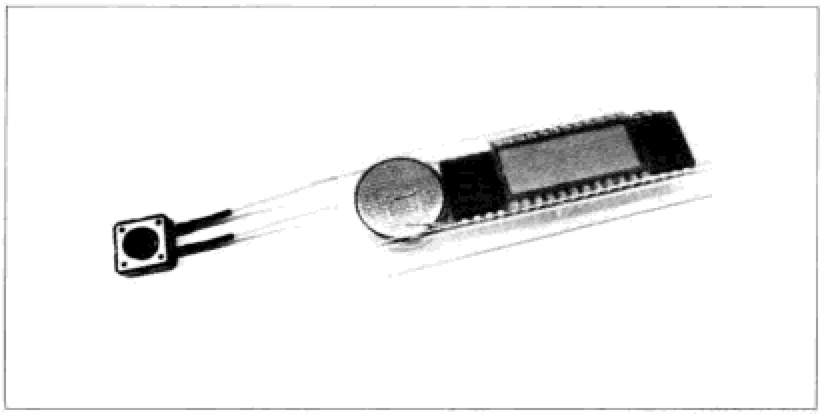
轻松5步，RT3电子温度计制作完成，制作过程根本花不上几分钟，可是达到的效果和功能却是如此奇妙。也许是过于追求精简设计，而忽视了实用性，在实际使用中发现了一些问题。为了找到精简与实用的平衡点，下面我尝试着做出了一些改进。

使用测试与改进

RT3 采用电池供电，自然而然地就会涉及功耗的问题：电池能用多久？这可能是制作者最关心的问题之一。为了尽量节能，我在程序上设计了空闲工作模式。即每 1 分钟更新一次温度显示，平时单片机处理完液晶屏的显示切换之后就进入空闲模式。理论上，更新温度时的电流为 20mA，空闲时的电流为 3mA。这样的功耗听上去好像很小，可是实际的使用时间却让我失望。我用全新的 2 片纽扣电池测试，RT3 连续工作的时间不到 7 天，我也不想买 106 片纽扣电池只为让 RT3 工作一年。我相信使用其他品牌的低功耗单片机可以让 RT3 工作更久，但我想这不是解决之道。

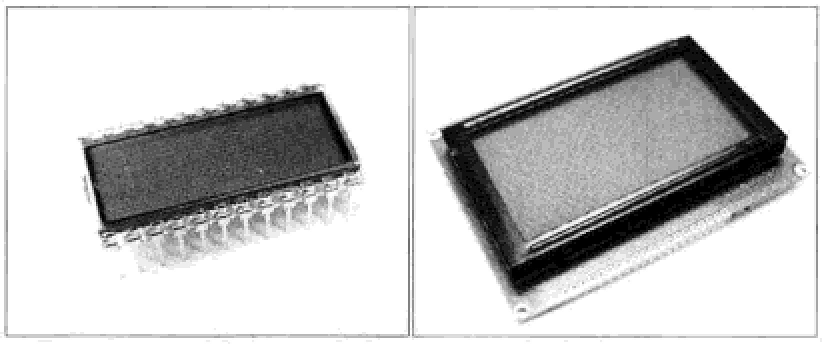
另外一个不可忽视的问题是单片机工作时发热对温度传感器的干扰。有朋友会认为我们常用的单片机是不发热的，可是我用实验证明了单片机确实发热并干扰到了温度数据。我在一个恒温的环境中开启了RT3，它在刚上电时所显示的温度值会较低，随着时间的流逝，温度值会不断上升，直到达到比刚上电时高出1~3℃。我推测这不是温度传感器本身的问题，因为我用了其他温度计作为参考，并把LM75分离出来单独测试，结果问题只能出在单片机自身的发热。虽然单片机的发热量不能与电脑的CPU相比，但对于直接焊接在单片机引脚上的温度传感器来说还是极具杀伤力的。

对于以上两处硬伤，我要如何解决？是改用低功耗的单片机？或是选用大容量的电池？还是放弃精简设计而让LM75远离单片机呢？结果我在电池上串联了一个微动开关，从应用设计上解决了技术问题。平时RT3不工作，液晶屏上也不显示温度，这样就根本谈不上功耗问题了。当我们需要看温度时，只要走到RT3旁边，轻轻地按下开关，电源接通，液晶屏就会显示温度。这个温度值是单片机刚刚上电时的数据，还没有受到单片机发热



为RT3加装微动开关

低温环境中的RT3工作照



段码式液晶片与液晶屏模块

的干扰。诚然，这样的改进牺牲了原来的不间断显示功能，可是除了油画和照片上的人之外，谁又能每天目不转睛地盯着RT3看呢？所以这一改进既不影响人性化设计，又不增加技术难度。一个微动开关，完美了RT3电子温度计。

下面你将看到的是我最爱吃的“酸奶口味棒冰+蓝莓果酱”。没错，你现在来到的是零下9℃的冰箱，看到的是冰爽的冰淇淋和RT3在一起。RT3在显示负温度的时候，最左边的数字位用来作为负号显示，后面紧跟2位的温度整数显示，省去了小数部分。RT3最低可以显示-25℃，不用担心单片机和液晶片会冻坏掉，它们都是工业级产品标准，最低可以在-45℃的环境下工作。可惜的是我们美丽的纽扣电池就没有这么好运了，在0℃时，电池的电压就会迅速下降，不一会单片机就会因电压过低而停止工作。幸好我们有碱性电池，实验证明在冰箱里的低温环境，碱性电池依然可以和单片机、液晶片并肩作战。所以建议可能在低温环境中使用的爱好者朋友使用碱性电池为RT3供电。

巧妙驱动液晶片

提到液晶屏，大家首先想到的应该是绿色电路板上面固定着一块玻璃片的显示屏，正如上图右侧显示屏的样品。的确，这是

最常见的液晶屏样式，之所以称为“模块”是因为它是由玻璃液晶屏幕和驱动电路组合而成的。要知道液晶显示的驱动是很复杂的技术，一般都需要专门的驱动芯片，驱动芯片需要产生多级电压，还要产生交流驱动电压给玻璃液晶片。玻璃液晶片简单地说就是两片玻璃中间夹着有固定形状的液晶体，液晶体的两极加一定电压时，液晶体将从透明变成黑色，这样我们就可以显示信息了。当然，液晶显示的真实原理要比这复杂得多，有兴趣的朋友可以另外去学习。我们常见的段码较多的液晶片都是采用动态显示结构的，这和LED数码管的动态显示原理是一样的。这样的结构省去了大量引脚，但对驱动电路的要求也很高，一般都是把它和驱动电路放在一起制作成模块销售，这种模块可以直接与单片机连接，减少了单片机开发人员的麻烦，也是目前液晶显示产品应用的主流。相比之下，静态液晶片已经不常见了，因为静态显示结构只有一个公共端，所以每一个段码都有自己独立的引脚。因为引脚太多，同样用驱动芯片制作，当然还是选择引脚少的动态显示结构了。不过静态显示结构不需要多级电压，也没有灰度调试的问题，只要各段码引脚和公共端之间输入一个交流电压就可以驱动起来了。幸好我们的EDS812液晶片是静态显示结构的，可以用单片机的I/O接口直接驱动。

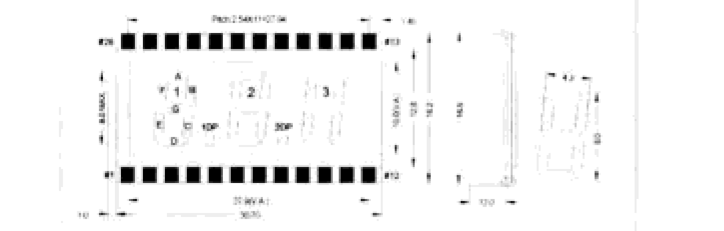
为什么要用交流电压呢，直流电压不行吗？假如我们在水中加一定的电压会出现什么情况？中学化学都学过，水被电解变成氢和氧。液晶也是液体，它被施加电压也会被电解，虽然电解出来的不是氢和氧，但同样会使液晶失去原来的显示特性。怎么办？不加电压就不能显示，加电压又会被电解。如果是我就会放弃，可是充满智慧的科学家们用简单的方法解决了问题，就好像我用一个微动开关解决了RT3的硬伤一样，嘿嘿。科学家们试着用交变电压来驱动液晶，液晶两端的电压的极性是快速变换的，这样使得液晶还没来得及电解就转变了电极，相同的占空比关系使液晶长时间显示也能安然无恙。

下面我们要讲到***如何用普通 51 单片机驱动段码液晶片***了，这种驱动方法只用到最基础的普通双向 I/O 接口，没有用到 STC 特有的 I/O 接口的多种工作方式。驱动静态显示结构的液晶片只要处理好高 / 低电平变化就可以了。我们先来看看 EDS812 液晶片的引脚定义。“EDS812 段码式液晶片引脚定义”表中第 1 脚为 COM 引脚，它就是所有液晶段码的公共端。任何一个液晶段码的电压如果与 COM 端的电压相等，段码的两端就没有电压差，此段码就不显示。反过来，如果想让某个段码显示就需要让这个段码的引脚电平与 COM 端的电平不同，这样产生了电压差，液晶呈黑色显示。

例如我们想让液晶片上的1B、1C、1D、1E这4个段码呈黑色显示状态，其他段码呈透明状态。我们在单片机程序中要做的就是让这4个段码的电平与COM的电平不同，再让其他段码的电

EDS812

1.0 External Dimensions

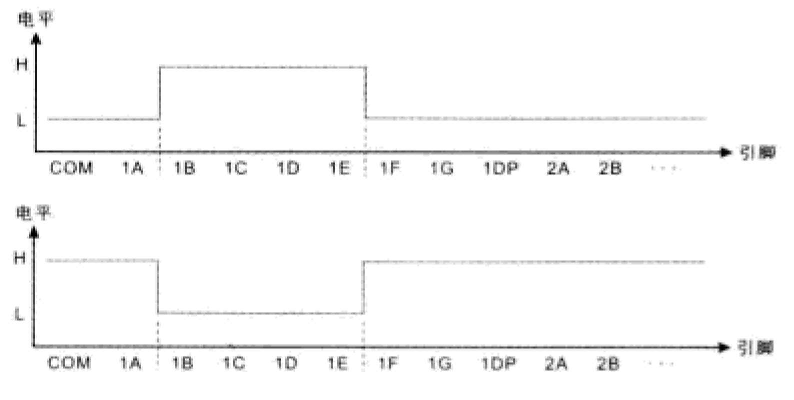


2.0 Logic

PIN#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SYM	COM	1E	1D	1C	1DP	2E	2D	2C	2DP	3E	3D	3C
PIN#	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SYM	3B	3A	3F	3G	2B	2A	2F	2G	1B	1A	1F	1G

DALIAN DONGFU COLOR DISPLAY CO., LTD

EDS812段码式液晶片引脚定义



EDS812段码液晶片驱动方法示意图

平和COM的电平相同。前面我们讲过，液晶片需要交流驱动，所以我们首先把这4个段码对应的I/O接口设置成高电平，COM和其他段码对应的I/O接口设置成低电平。延时一段时间（比如2ms）后再把所有的电平反转过来，再延时一段时间，两次延时的时间要一致。如此循环往复，即可以成功显示我们需要的数字了。

RT3制作完成了，虽然简单，但设计中充满了巧合、巧妙和巧思。带给你制作快感的同时也能给你一些启发，令你重新理解电路制作。如果真是这样，那么我的这篇文章就达到目的了。请你随着这种启发不断扩展思路，想象并尝试更多的可能，我们又向创新之路迈出了一步。

其他注意事项：

◆ RT3 电子温度计的 HEX 烧写文件可以在《无线电》网站上下载。
◆欲使温度计工作在低温环境中需改用碱性电池（4.5~6V）。
◆本制作涉及贴片元器件焊接，制作者需要一定的焊接水平。
◆写入HEX文件时需选择单片机内部R/C振荡器。
◆单片机仅可使用指定型号，不能用其他型号代替。

PDG

电动自行车里程表

◎陈庚

如今电动自行车越来越普及，因其节省开销而深受普通消费者欢迎，但可能有些骑电动自行车的人会感到一些美中不足，至少作为电子迷的我有此感受，主要表现在以下几点：

1. 几乎市面上多数电动自行车的里程表只能显示骑行速度，不能显示和存储已骑行的里程；

2. 其所显示的骑行速度也很有“欺骗性”，为什么这么说呢？我有一次将我的车子的里程表拆开观察了一番，发现其原理就是一个磁电式的电流计，它是以测量电机电压的方式来测量速度的，电路很简单，这样测量到的速度肯定是很粗糙且不合理的。

为了让我的车子能实时显示速度并记录已骑行的总里程，我用单片机AT89C2051为核心制作了一个里程表，并使用图形点阵液晶屏作为显示器，图1是这个里程表的全貌，外形可能丑了点，但功能还是蛮合我意的，图2所示是内部电路。现将制作过程和方法分为几个部分介绍给大家。

如何取得速度和里程信号

通过采集速度（脉冲）信号数据，才能计算出速度和里程，这是制作的前提。如果你对电动自行车有点了解，就会知道车上所用的电机大部分都是无刷电机，这种电机靠霍尔元件进行换向，而霍尔元件本身也有测速作用。看到此大家也许会把电机控制器拆开，将里面的霍尔信号引一路出来，于是事情就解决了一半。而我要说的是：请打住！因为这样做有风险！理由是：其一你的车子可能还在保修期，如果拆控制器，商家就不会再给你保修了，即便过了保修期，这样做也会很麻烦，其次也是更主要的一点，如果引出来的这路信号没保护好，有可能会损坏霍尔元件，麻烦就大了。所以这种方法最好不要使用。那我们又该怎么办呢？

将计就计，去电子市场买支开关式霍尔元件和几片强磁磁钢，将磁钢安放在车轮适当的位置，就用霍尔位置传感器来测量速度，记住霍尔元件是开关式的，可别买成线性的。有了这两种基本元件就可动手把速度传感器制作出来。具体制作时还得需要些辅助材料：AB胶、尼龙扎带、热熔枪、胶棒、一根够长的塑料棒以及三段足够长的不同颜色的细导线。前两样能在五金店或是卖摩托车配件的商店买到，热熔枪可能电子市场才有，至于塑料棒我用的是圆珠笔的笔芯，导线嘛都不缺吧！

先将导线分别 焊接到霍尔传感器的3个脚上，并注意区别导线所对应的脚位，一般霍尔元件的脚位安排如下：将管脚朝下，有字的一面对着自己，则第1脚为电源正端，第2脚为地，第3脚为输出。

接着将霍尔元件头部和准备好的塑料棒的一端对齐，有字的一面或背面挨着塑

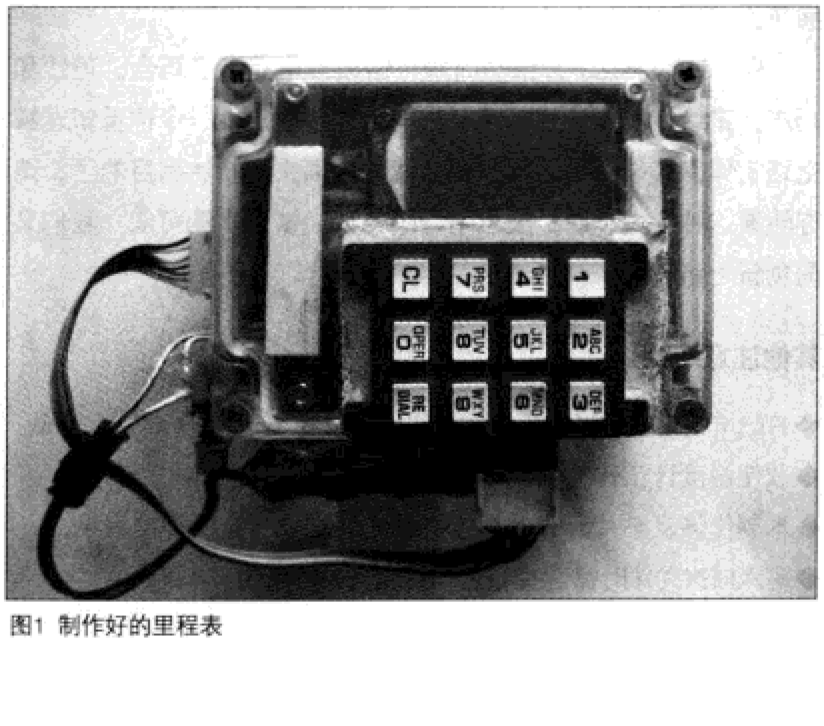


图1 制作好的里程表

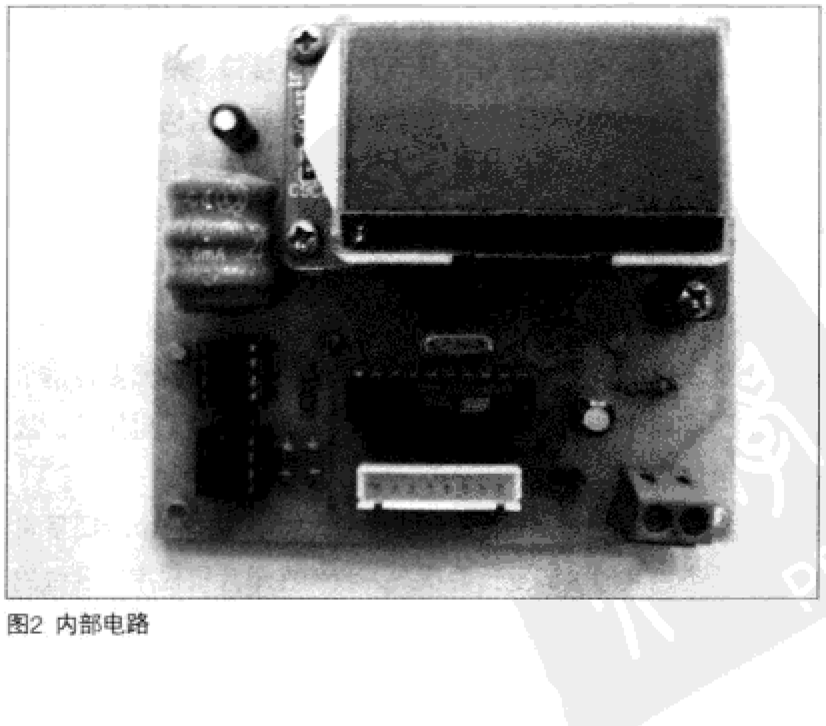


图2 内部电路

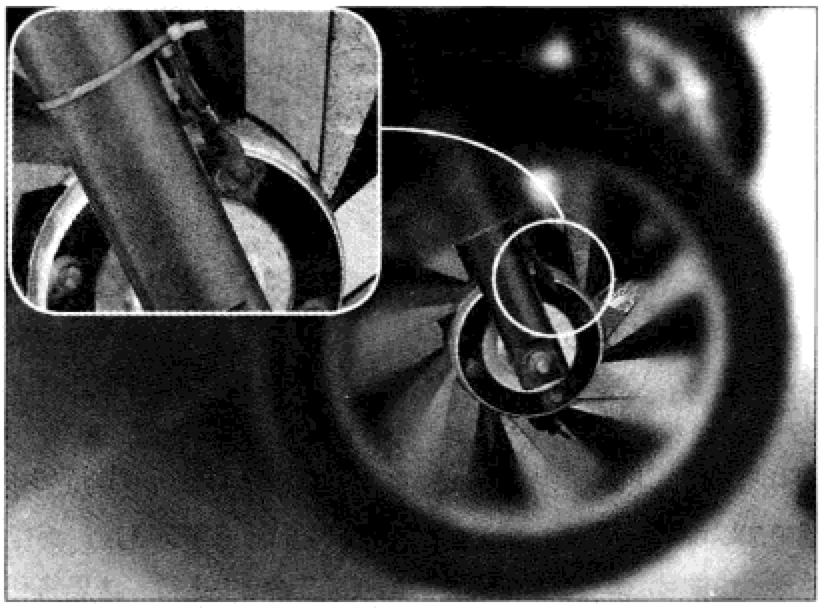


图3 探头全貌

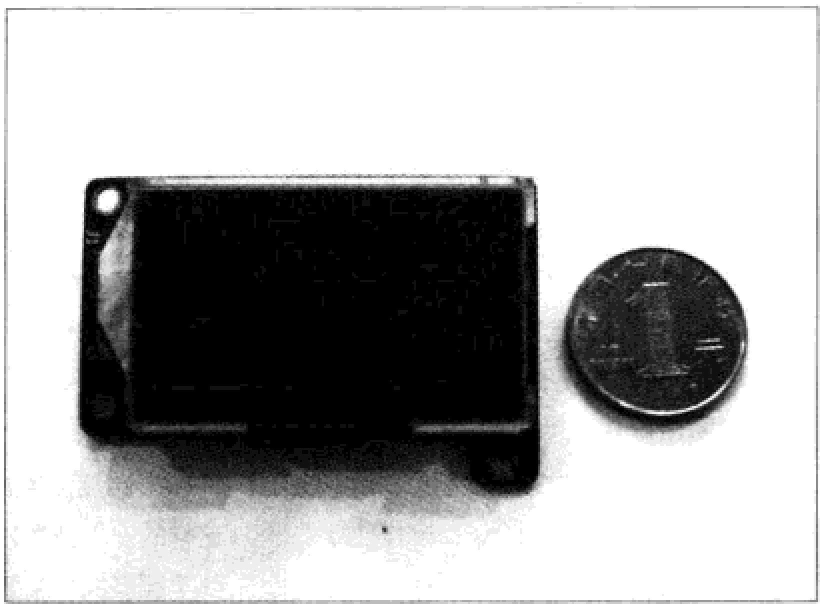


图4 本制作采用的液晶显示器

料棒并用热熔枪将其固定密封好，这样传感器探头就基本做好了，接下来就是如何固定强磁磁钢了。

首先你要观察一下前后轮，基本思路是：将做好的传感器探头用扎带绑在前轮前叉或后轮的平叉上，视磁钢允许安放的位置对塑料棒进行弯折。而磁钢的固定位置以探头上霍尔元件能与之保持几毫米间距为宜。

确定好探头和磁钢的安放位置后还别急着固定磁钢，因为霍尔元件对磁场的感知是有方向的，一面对N极敏感，另一面则对S极敏感。如果弄反了则输出端基本不会有信号输出，所以要视探头制作时是有字一面向外还是背面向外来确定磁钢的安放方向。

先用5V直流电给制作好的探头通电，探头输出端接万用表直流电压相应挡位，接着将磁钢一面靠近探头的探测端一面，若此时有电压输出则表示霍尔元件已检测到磁场并导通，若没有信号输出则将磁钢另一面靠近探头即可，如此便能确定每片磁钢安放时哪一面对着传感器。确定了安放方向和磁钢位于电动车车轮的位置后，用AB胶将其牢固地固定在上面，安放时尽可能做到对称，使每个磁钢处于同一圆周上。当然还有个数量的问题，即磁钢该安多少个呢？如果只安装一片测量起来数据会不稳定，特别是骑行速度很低时最为明显，所以最好安装4片磁钢。磁钢固定完毕，就该固定探头和信号线了，用扎带将探头绑在已选好的位置，注意要使探头上的霍尔传感器尽量靠近磁钢但又不能发生摩擦，间距5～6mm即可。探头固定好以后接着用扎带将探头上的三条导线顺着车架上其他已有的线缆绑于车身上，最终将导线引至车头，并留足够的长度。此时再给探头通电，输出端接一发光二极管，用手慢慢拨动车轮一周，发光二极管应发生间隔的亮与灭，次数和已安放的磁钢数对应，若不相同，则检查磁钢是否放反，并作调整。图3是制作好的测速探头和安装的位置，图中左边为测速头，右边呈圆形的为磁钢。至此，测速传感器的探头便制作完毕，下一步开始电路制作。

电路功能的确定和实现方法

1. 电源如何解决

这个里程表仅仅用来测量速度吗？或者说功能仅限于此吗？我一开始的想法就是不，这个里程表还要能很方便地取上取下，我还要求它在我上班工作时为我提供时间显示功能。如果你的大脑反应够快，就会立刻意识到这样做就不能在电动车上取电为里程表供电了。显而易见，我们的这个“便携式”方案只能是电池供电，一次性的碱性电池肯定不行，非常不环保同时也相当浪费钱，所以理所当然就只能选择可充电的镍氢或镍铬电池，数量为4节，串联使用。4节电池串联是4.8V电压，给里程表供电没有问题，AT89C2051和下面要用到的芯片都支持这个电压，但别忘了便携式电子设备都强调节电，我们的这个小制作也不例外，所以最好让所有元件工作于3V电压，那样能更好地节电。所幸的是，本电路上大部分的元件也都支持3V电源电压，那何不只串联三节电池呢？因为霍尔元件只能5V供电。因为要将5V转为3V，所以此时电路上还要有降压型稳压电路，低压差线性稳压器是首选，该电路很简单，一般就3个元件，稳压芯片一枚，外接电容（一般是钽电容）两只。本里程表所用电源转换芯片为LM1084-3.3，属于低压差线性稳压器LDO。将5V转换为3.3V，也可选用LM1117，只是能提供的电流要小些了，LM1084据说可提供3A的电流。

2. 人机对话装置

要做到省电，就只能使用液晶显示器，同时LCD能提供的信息量也更多些，还有个前提就是要其体积小，越小越好，因为这个里程表的安装空间很有限。为此我

在当地的电子市场转了几次，终于买到了一款较为合适的LCD。请看图4，这是一款国产的LCD，点阵为128×64，自带国标汉字库和ASCII字库，只能3.3V供电正好符合电源要求，而且可以并行或串行两种通信方式，更棒的是其在串行通信方式下LCD本身可外接16个按键，为单片机提供按键功能。本着尽量利用现有元器件和节省单片机端口的原则，LCD和单片机采用串行方式通信，没有使用LCD的按键功能。本例中的按键只有几个，P1口有8个端口，作独立式按键完全够用，但因我手中已有一个现成的3×4的矩阵键盘，这是我在旧货市场淘来的，所以没有额外制作按键。

3. 实时时间显示和数据保存

AT89C2051内部的两个定时器因为要进行串口通信和测量速度，所以就不能提供时钟功能了，在此使用PCF8563提供时钟，但若系统断电了，时钟数据就会丢失，所以还要给PCF8563外加一个备用电源，一般选用3.6V的镍铬电池。里程数据的保存则选用AT24C01，这两款芯片相信大家都已很熟悉了，它们都采用I²C方式通信，所以单片机只用两条I/O口即可同时控制这两个片子。

里程表电路原理请看图5，图中注意PCF8563和单片机的连接方式，PCF8563除I²C总线和单片机相连外，其可编程时钟输出端接至单片机的外中断1端口上，这样的安排将在软件介绍中加以说明。至此里程表的电路便初具雏形，由图可见单片机的端口已全部用完。

软件思路和具体实现

说起单片机测速，最简单也最容易实现的方法之一就是使用其内部的定时器：一个定时器作计数功能，用来对测速探头送来的脉冲信号计数，另一个定时器则作定时功能，定时时间为1秒，每次将用作计数的定时器打开1秒，1秒到则关闭。但这种方式需要两个定时器，而前文已提到用于测速的定时器只剩一个，另一个已用作串口通信的波特率发生器，要测速就必须要给单片机提供一个秒信号，而这个矛盾刚好可由PCF8563来解决，其第7脚为可编程时钟输出，所输出的频率范围刚好就有秒信号，因此单片机复位后，程序开始运行时第一件事就是对PCF8563作相应设置，使其输出秒信号作为单片机的外中断1的中断信号，用来测量速度。而里程的计量则在外中断0中进行，这里将利用PCF8563的第3脚，输出1024kHz的脉冲，让2051的外中断0每秒中断1024次，用于计量行驶里程，这样一来就解决了里程表基本功能实现的问题，从而实现了对它的充分利用。至于额外的时间显示功能，PCF8563本身就是用作实时时钟的，所以问题自然也就迎刃而解了。

行驶里程数存储于AT24C01中，要注意一点的就是，AT24C01的读写次数一般是大于1万次，因而程序中就要注意向其写入数据的次数问题。假如我们每天上班骑行一个来回是40公里，每行驶一公里写一次里程数，则每天要写40次，一年下来就要擦写14600次，这个频率肯定会让AT24C01提早报废。解决办法是在按键程序中用按键来定义存储功能，到达目的地后，用按键来存储数据，这样一来，每天的擦写次数就变为两次了，AT24C01的使用年限将达十年的样子。

本文所提供的程序相对较大，有九百多行，全部使用汇编语言，采用模块化编程，因而源码虽然较多，但还是很容易理解，里面包括软件模拟I²C通信的子程序和双字节的乘法子程序，都很实用，大家可以将之移植到自己其他的程序中去。当然所提供的程序仍有很多能改进的地方，读者可以在源码基础上作更多的优化，使之更合理，效率更高。

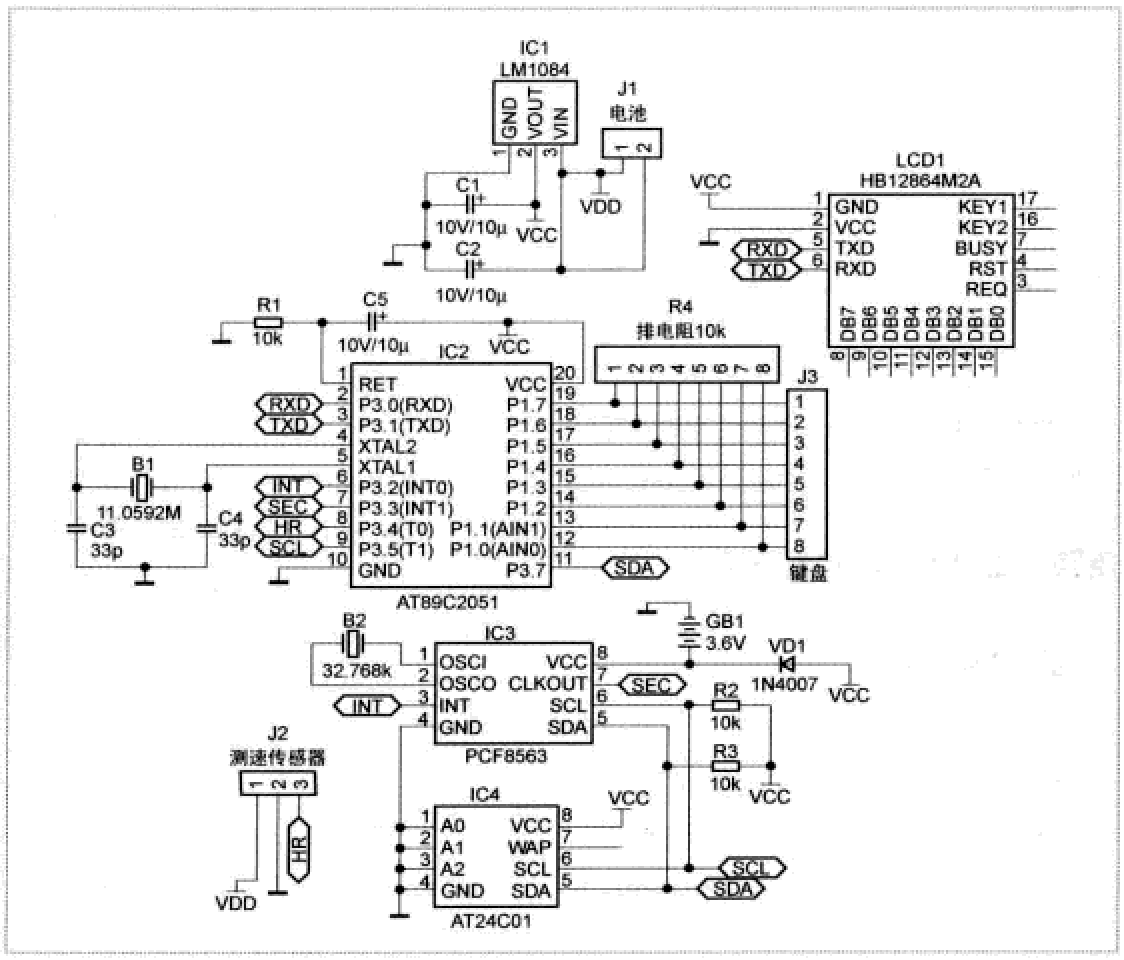


图5 里程表电路原理

学习型红外遥控灯座设计制作全过程

◎秦新月

声控开关给人们的生活和工作带来了极大的方便，但是在住宅居室中使用声控开关却很不现实，比如在卧室里装一个声控开关，若有的人晚上睡觉打鼾时或有点什么动静就有可能把灯震亮、影响人们的睡眠，有时甚至能吓到人，如何能设计出一个适用于家庭中使用的方便控制灯的装置呢？我发现人们在睡觉时床头常会放着个红外遥控器，怎么用它来控制头顶上的灯呢？这种装置必须用指定的几个键去进行控制，否则会干扰用电设备，因此它必须具有设定功能也就是学习功能，综合考虑笔者决定选用单片机来制作。

单片机的选型

笔者决定选用STC的11F02E，理由如下。

1. 因为做这种电路用的I/O口不多，有红外信号输入，控制输出，按键控制，指示灯等，STC11F02E有16个引脚的，而且价格比较便宜，仅为每片2.8元左右。因此在电路板的体积和整体成本上比较合适。

2. STC11F02E的I/O口可以设置多种输出模式，比如设置成推挽输出每个I/O口可提供20mA的电流，在驱动晶闸管时又省去了三极管驱动电路，可以节省一项开支。

3. STC11F02E最主要的一个特点是其内带2KB的EEPROM数据存储器，单片机学习的红外编码可以存储到里面，掉电后不至于丢失，又省去了存储器，真是再好不过了。

4. STC的单片机号称是单时钟/机器

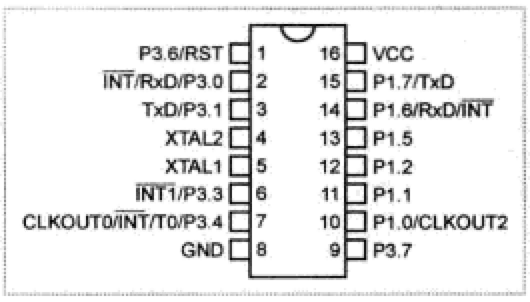


图1 STC11F02E的引脚排列

周期的单片机，高速/低功耗/超强抗干扰，这对系统的稳定性也有了保障。

5. STC11F02E是宽电压单片机，电压范围4.1～5.5V，对电源的要求不是很高。

6. 它还有2KB的程序存储器和众所周知的ISP在线编程、无法解密等特点。

图1是STC11F02E引脚图。

电路原理

1. 电路要实现的功能

（1）不要买遥控器，用家里的电视机、DVD、空调的遥控器都可以。

（2）可以设置学习键，按下按键后就开始学习，学习遥控器上的两个键，第一个是电源打开键，学习成功后LED指示灯会变亮，再按下一个键就是电源关闭键，学习成功后LED指示灯会变灭，松开学习键学习结束，学习到的码会存储到单片机的EEPROM内，即使掉电重启后也不会丢失。这对家庭很方便，因为电视机总有一些键不经常用，我们可以把它们设置为灯的开关键。以后在睡觉前用遥控器把电视机关掉的同时，顺便就把电灯关闭了。

（3）为了避免找不到遥控器，电路设计为重启后电灯为亮的状态，因此还可同时用墙壁开关控制。

（4）电源是由降压电路直接供给，因此除了支持白炽灯还可以支持节能灯，挺完美的。

2. 硬件主电路原理

硬件电路原理如图2所示，这个电路非常简单，IC1是主芯片STC11F02E单片机。这款单片机有内部晶体，但是红外接收要求频率准确性很高，所以采用外部晶体，B、C5、C6组成单片机的外部晶振电路。C7和R3是简单的上电复位电路。VD4是发光二极管，用来在学习和点亮时

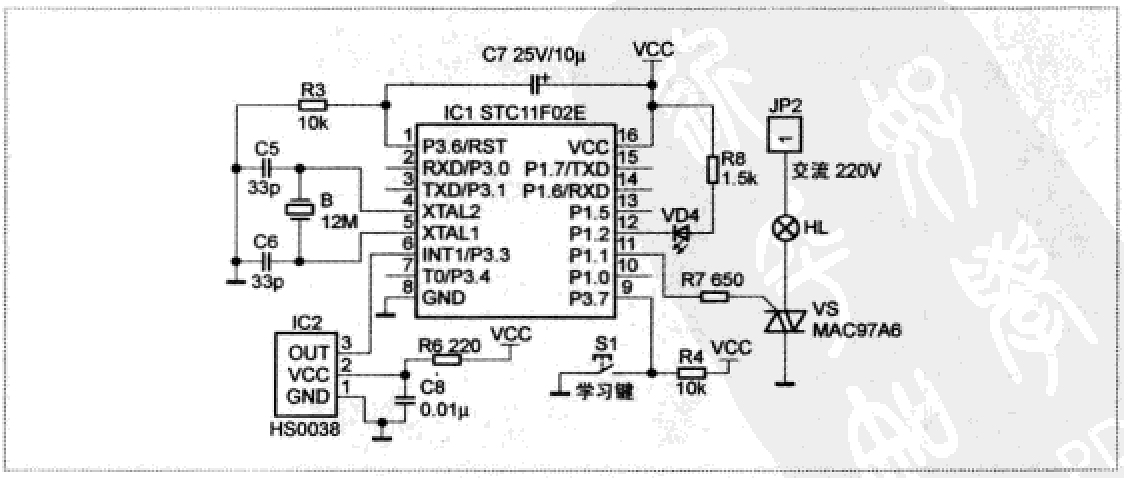


图2 电路原理

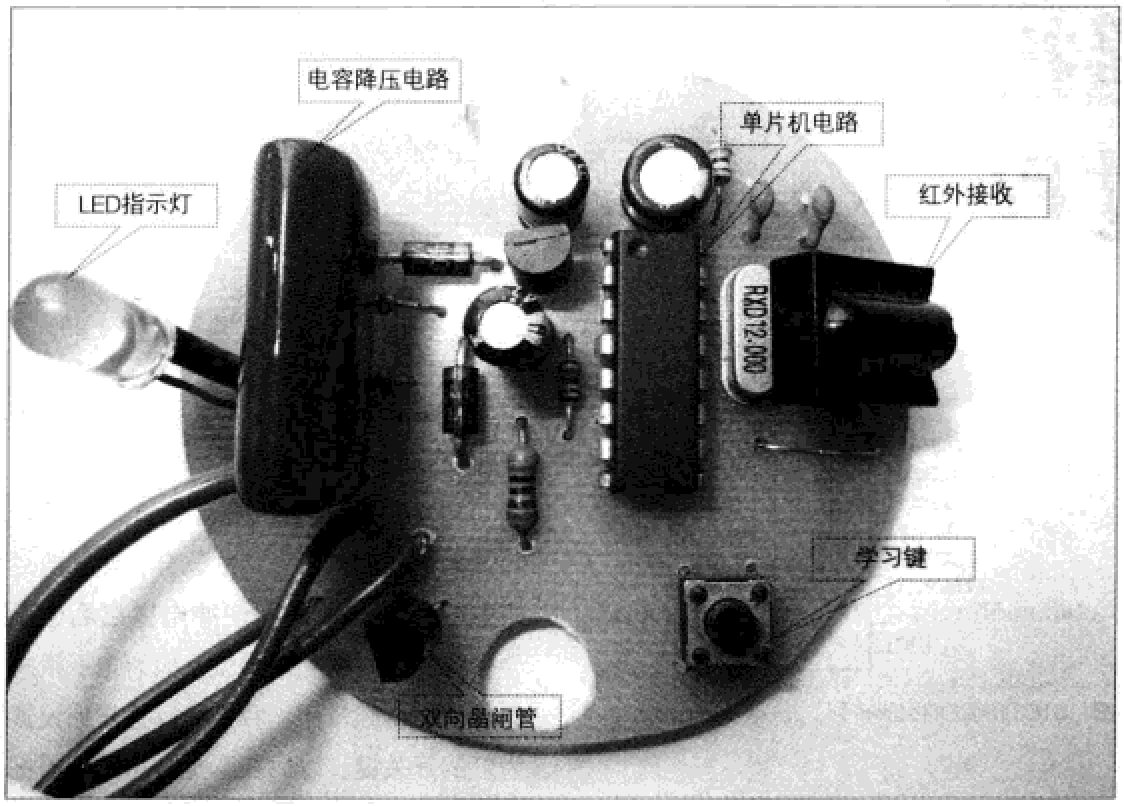


图3 焊接好的电路

做指示，R8是它的限流电阻，采用灌电流点亮方式。用单片机的P1.1口作为推挽输出直接控制双向晶闸管MAC97A6从而来控制灯的亮灭，R7是它的限流电阻。S1按键是用来学习时用的，R4是防干扰的。IC2、C8、R6是红外接收电路，接收红外遥控信号，红外接收头型号为HS0038、C8和R6也是为了防干扰。

当电路接通电源后LED指示灯会闪一下，然后按住学习键S1不要松开，同时拿家庭遥控器把想要设为打开灯的按键按一下，如果指示灯亮说明此按键学习成功，然后把遥控器上想要设为关灯的按键按一下，此时指示灯灭说明学习成功，松开学习键就学习成功，安上灯泡就可以用家庭遥控器控制灯了。它的实物见图3。

所用元器件也非常之少，可以把它做成板子然后放入灯座内，图4是我用远古的办法腐蚀的板子，放入灯座内正好，图5，图6所示是成品使用的情况。

3. 电源电路原理

经过测试发现此电路运行时最大电流不过15mA，而在待机状态下只有6mA，非常省电。为了缩小成本和体积，我选择了电容降压电源电路，此电路可提供5V/25mA电源，供这个小电路是绰绰有余呀！

电容降压式简易电源的基本电路见图7。C1为降压电容器，宜采用无极性的金属膜电容，VD1为半波整流二极管，VD2在市电的负半周时给C1提供放电回路，R1为关断电源后C1的电荷泄放电阻。整流后未经稳压的直流电压一般会高于30V，并且会随负载电流的变化发生很大的波动，VD3将电压稳到12V，然后由C2滤波，为了确保电源质量在后级加入78L05稳压器，它体积虽小但能提供300mA的电流，再加入电容C4，电源就基本为5V稳定电源了。

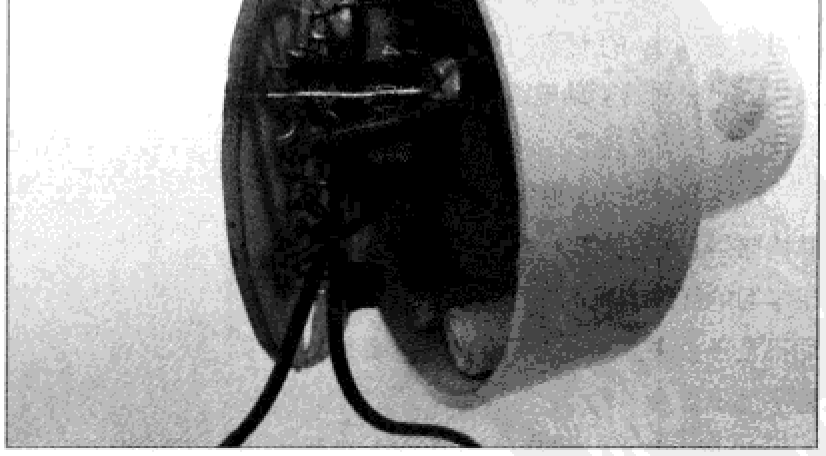
程序原理

1. 程序流程见图8。

2. 编程应注意事项。

（1）在编 STC11F02E 单片机时与 51 单片机有所不同，因为它内部多了一些特殊功能寄存器，在编译时必须声明地址。

sfr P1M1=0X91;



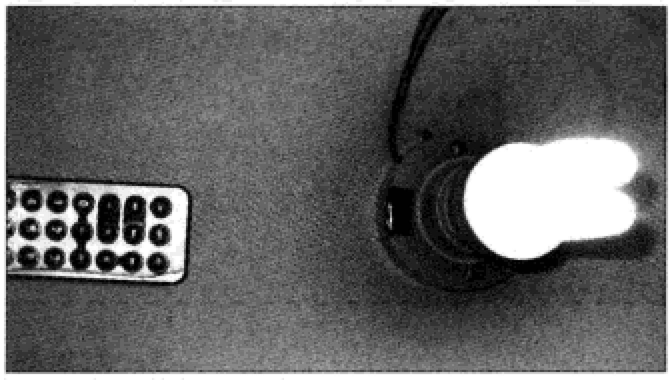


图6 用遥控器打开电灯

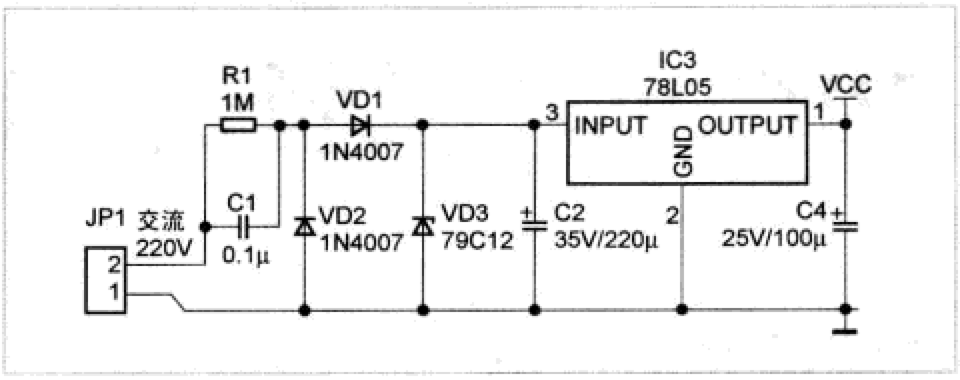


图7 电源电路

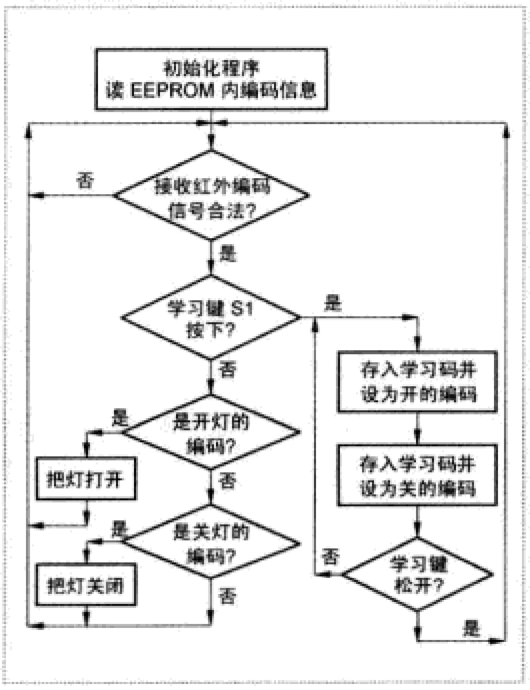


图8 程序流程

表1 I/O口输出模式设置方法

P1M1	P1M0	I/O口模式
0	0	准双向口（传统8051 I/O 口模式）
0	1	推挽输出（强上拉，输出电流可达20mA）
1	0	仅为输入（高阻）
1	1	开漏（Open Drain）

表2 元器件清单

标号	名称	型号	数量
IC1	单片机	STC11F02E	1
IC2	红外接收头	HS0038	1
IC3	集成稳压器	78L05	1
VD1、VD2	二极管	1N4007	2
VD3	稳压管	79C12(最好用1N4742A)	1
VD4	发光二极管	ø3mm	1
C1	电容	630V/105J	1
C2	电解电容	35V/220μF	1
C4	电解电容	25V/100μF	1
C5、C6	电容	33pF	2
C7	电解电容	25V/10μF	1
C8	电容	63V/0.01μF	1
B	石英晶体	12.00MHz	1
R1	电阻	1MΩ 1/4W	1
R3、R4	电阻	10kΩ 1/6W	2
R6	电阻	220Ω 1/4W	1
R7	电阻	650Ω 1/4W	1
R8	电阻	1.5kΩ 1/6W	1
S1	按键	5mm×5mm×6mm	1
VS	双向晶闸管	MAC97A6	1

sfr P1M0=0X92;//声明P1口的软件配置工作类型寄存器地址

sfr AUXR=0X8E;//声明AUXR寄存器地址

sfr IAP_DATA=0XC2;

sfr IAP_ADDRH=0XC3;

sfr IAP_ADDRL=0XC4;

sfr IAP_CMD=0XC5;

sfr IAP_TRIG=0XC6;

sfr IAP_CONTR=0XC7;//声明EEPROM存储器所用寄存器地址

（2）由于此单片机可以设置输出端口为推挽输出，此时输出电流每个I/O口可提供设置输出口电流20mA用以驱动双向晶闸管，P1口的I/O口输出模式需要设置P1M1、P1M0寄存器，设置方法见表1。

如电路图P1.1控制双向晶闸管，需设为推挽输出，其他口设为准双向口所以P1M1=00000000

P1M0=00000010。C语言程序写为P1M1=0X00; P1M0=0X02;

扩展应用

这种原理实现后发现它不仅仅只是用以遥控控制灯，还可以改变输出控制部分来控制电机、设备、电视等，或用于危险防爆场所，或改变输出端口控制多路等。如有兴趣请看网络视频介绍地址是：www.tudou.com/v/aieFqMKYaZU。

此电路做成功后 试验两个星期工作正常，大家可以做着玩玩，元器件清单见表2。

PIC单片机轻松入门（下）

音频信息显示屏

——PIC单片机定时器、模数转换器使用实例

◎周坚

电脑上的音乐播放器大家都用过，其中有一个很“酷”的功能就如图1所示的信息显示屏。本文将用LED显示屏来模拟这一功能，以此来学习PIC单片机的模数转换器（ADC）、定时器、中断等知识。

图1 音乐播放器的信息显示屏

一、让单片机并行工作

单片机程序运行在微观上都是“串行”的，即指令是一条接着一条地被执行的，不可能同时执行两条或者两条以上的指令。但是很多实际工作却是“并行”的，如灯亮的同时检测按键，当对外部事件进行计数时，LED显示器将计数值显示出来。这些看起来理所当然的工作，单片机并非能轻易实现，因为这些是不同的工作，需要用不同的指令来实现，而指令是不能同时执行的。

如何做到不同工作“并行”呢？通常这需要软、硬两方面的措施，单片机在硬件上有“锁存”结构，可以“锁住”输出信号或者“输入”信号；软件编程则用“时间片”概念，即在微观上仍是分时完成不同的工作，但由于计算机运算速度极快，在宏观上表现出“并行”的特性。“时间片”方式编程是指每隔一定的时间来完成一项工作，这需要用到单片机中两个重要部件，一个是中断，另一个是定时器。

大部分中档PIC单片机都有定时器和中断结构，如PIC16F877A芯片有3个不同功能的定时器，并能实现中断。

1. PIC单片机中断结构

单片机中运行的程序有些对时间要求不高，早一点、晚一点都可以，这些程序可以安排在main()函数中顺序执行。而有一些工作是必须在第一时间被响应的，例如控制机器设备的应用场合，当有紧急停车信号传来必须立即作出响应，每一次定时时间一到应该尽快地响应，处理“时间到”这个事件，这些工作都采用“中断”机制来实现。而所谓“中断”，顾名思义就是中止当前正在执行的程序转而去执行其他程序，由此，可以实现计算机对各种情况的“实时”处理。

PIC16F877A的中断结构如图2所示。

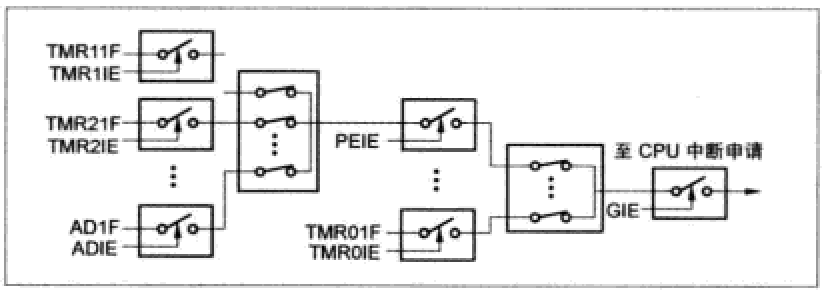


图2 PIC16F877中断结构（部分）示意

图3 TMR1工作原理框图

表1 TMR1控制寄存器T1CON的数据位定义

位	7	6	5	4	3	2	1	0
描述	–	–	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON

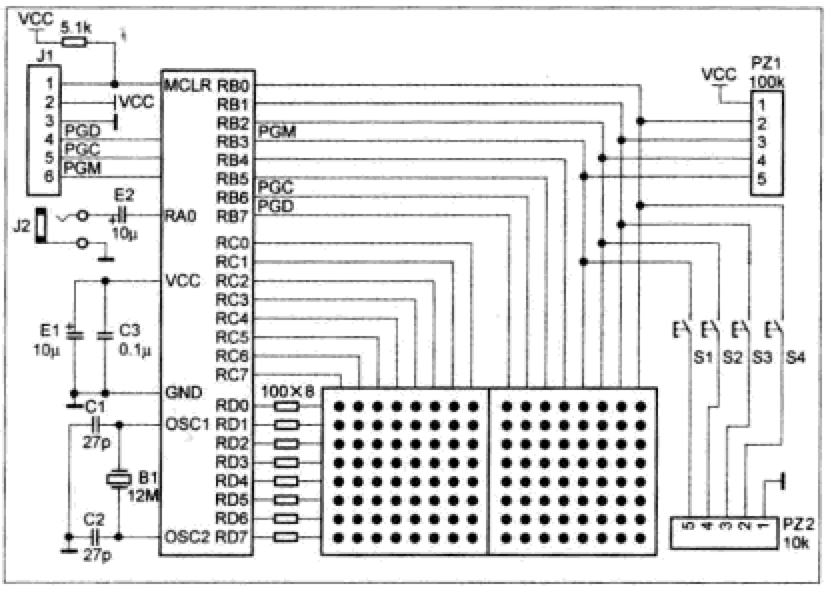


图4 音频显示窗口

从图中可以看到，PIC16F877A的中断分两个层级：第一个是在PEIE前的，称之为外围设备中断，第二个是与PEIE并列的内部中断。TMR1IF、TMR2IF、ADIF等均是中断标志，当各种事件发生时，这些标志有效，准备向CPU申请中断，但是这些标志要能够向CPU申请中断，须过层层关卡。第一关是每个中断自身中断允许控制位，如TMR1IE、TMR2IE、ADIE等；第二关是总中断允许位GIE，该位为0时，所有中断都不能向CPU申请中断。对于外围部件中断来说，还有一关就是外围设备中断允许位PEIE，该位为0时，所有外围设备中断标志无法申请中断。

CPU接受到中断申请以后，将自动进行一系列的动作，保存当前的工作现场，转去中断服务程序。在中断服务程序中对中断来源进行判断并分别作出响应，也就是执行一段预先编写好的程序。中断程序执行完毕，返回主程序时会自动恢复原来的工作现场，从原来程序中断处开始继续执行。

2. PIC16F877A的定时/计数器TMR1

PIC16F877A芯片有三个不同的定时器，这里以TMR1为例来讲解。

TMR1是一个16位的定时/计数器，图3是简化后的TMR1工作原理图。

TMR1的计数信号可以有2个来源，第一个来源是内部时钟（fosc）经4分频后得到，使用这一来源就是将TMR1作为定时器来使用。第二个来源是RC0引脚或者是RC1引脚，由T1OSCEN选择，该部分与本文无关，不作展开说明。计数信号随即送入前分频器进行处理，可以对信号进行4种分频处理，即1分频、2分频、4分频和8分频，这通过T1CKPS1和T1CKPS0两位进行设定。经过前分频器后的信号可以直接送入计数器，也可以在通过同步处理后再进入计数器，这通过T1SYNC位来设置。TMR1ON作为计数信号的最后一道控制关，只有该位为“1”计数信号才

【例1】用定时中断的方式实现光柱显示

```
#include "pic.h"
typedef unsigned char uchar;
typedef unsigned int uint;
__CONFIG(HS&WDTDIS&LVPDIS);
//配置文件，设置为HS方式振荡，禁止看门狗，低压编程关闭
void init_IO_TMR1()
{    …//I/O口初始化代码
     T1CKPS0=0;
     T1CKPS1=0;//前置分频系数为1:1
     TMR1H=(65536-3000)/256;
     TMR1L=(65536-3000)%256;
     TMR1CS=0;//设置为定时器功能
     TMR1IE=1;//允许TIMER1中断
}
uchar DispBuff [16]={1,2,6,4,8,4,3,5,8,2,3,4,5,6,0,7};
uchar Code[]={0x7f,0x3f,0x1f,0x0f,0x07,0x03,0x01,0x0};
void interrupt Timer1()//定时中断处理
{    static uchar i;
     static uchar Vscan=0x80;
     uchar cTmp;
     if(TMR1IF==1&&TMR1IE==1)
     {
          if(i>=8)
          {    PORTB=Vscan;PORTC=0;}
               else
          {    PORTC=Vscan;PORTB=0;}
               cTmp=DispBuff[i];
               if(cTmp==0)
               PORTD=0xff;//一个灯也不亮
               else
          {    PORTD=Code [cTmp-1];
               Vscan=cror(Vscan,1);
               if(++i>=16)
          {    i=0;
     ///////////////////////////
          TMR1H=(65536-3000)/256;
          TMR1L=(65536-3000)%256;
          TMR1IF=0;//清中断标志
          }
     }
void main()
{    Init_IO_TMR1 ();//初始化端口及定时器TMR1
     GIE=1;//全局中断变量允许
     PEIE=1;//外围功能模块中断允许
     TMR1ON=1;//启动定时器TIMR1
     for(;;);
}
```

能进入计数器。

TMR1由TMR1H和TMR1L两个8位的寄存器组成一个16位的计数器，每来一个计数脉冲，其值加1，当其计数值从0000H增加到FFFFH，再加1即回到0000H，此时产生中断溢出标志TMR1IF。如果中断允许，那么CPU将接收到中断请求标志。

T1CON寄存器是控制TMR1工作模式最关键的一个寄存器，它的定义如表1所示，其中bit7和bit6没有定义，其余各位的定义已在上文中描述。

在学习了PIC16F877A的定时器和中断系统后，下面就用定时中断的方法点亮如图4所示的LED点阵块。

图4中J1是编程和调试插座，J2是音频信号输入插座，点阵块使用SD411988，由PORTB和PORTC驱动列，而PORTD驱动行。PZ1和PZ2分别是100kΩ和10kΩ的排电阻，S1~S4是按钮开关。

【程序分析】：main（）函数调用Init_IO_TMR1（）对I/O口及定时器TMR1进行初始化。因为系统晶振频率是12MHz，计数信号是12MHz的4分频即3MHz，因此指令周期是0.333μs。定时初值设定为3000，因此定时周期是3000×0.3333≈1000μs。main（）函数在初始化工作结束及开启中断允许位，没有什么事要做，使用for(;;);进入无限循环，将所有工作交给中断程序处理。

HITECH的C编译器使用interrupt关键字来描述中断处理程序，因此，void interrupt Timer1()是中断处理程序，程序名Timer1可以自行定义。进入中断处理程序后，用if(TMR1IF==1&&TMR1IE==1)语句查询TMR1IF及TMR1IE是否同时为1，如果是，说明确实是TMR1产生的中断。每次中断处理一列数据，根据计数器静态变量i的值来决定在16列中的哪一列显示数据，这通过对变量Vscan逐次右移来实现对待显示列进行控制。

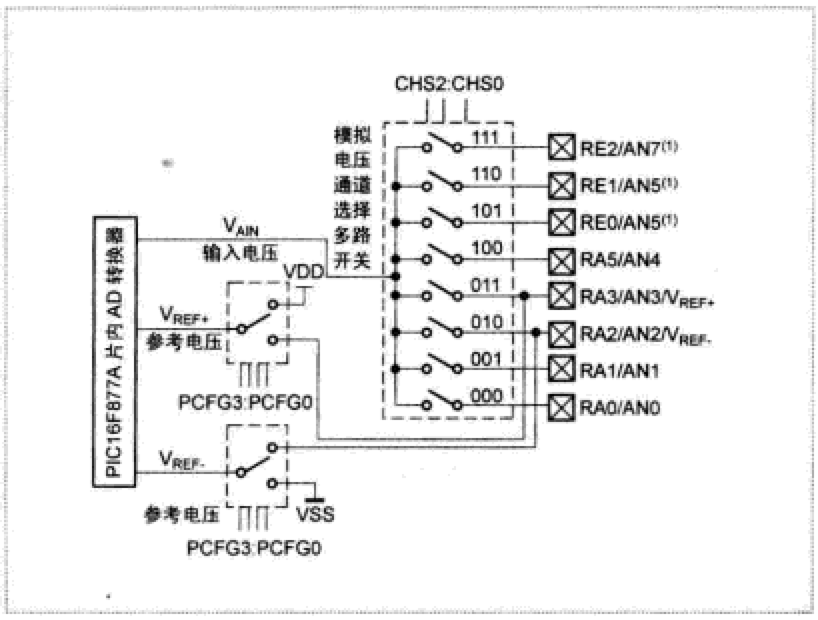


图5 PIC16F877A的ADC结构

根据i的值从显示缓冲区取得待显示数据，显示缓冲区的数据在0~8之间，如果是0就不点亮任何一个LED，否则点亮相应个数的LED，程序中通过if语句来判断，如果显示缓冲区中的值为0则送0xff到PORTD，否则通过查Code[ ]表来确定应该送到PORTD的数据。

二、音频显示窗的实现

通过例1，我们看到，只要在显示缓冲区中放入待显示数据，就能够将其显示在点阵屏上，这样，只要将音频信息按一定的规则放置在显示缓冲区中就可以。为了采集音频响应的特征，需要用到PIC16F877A芯片内置的模数转换模块。

1. PIC16F877A的模数转换模块

单片机所分析和处理的信息总是数字量，而这里要处理的音频信号是电压幅度连续变化的模拟电信号。单片机要处理这种信号，首先必须将模拟量转换成数字量，这一转换过程就是模数转换，实现模数转换的设备称为AD转换器或ADC。

PIC系列单片机可以提供多种特性的ADC模块，其分辨率有8位、10位和12位，转换速度可以仅用10多微秒，输入通道最多可以有14个，转换所需的基准电压也可以通过软件配置选择，能满足各种不同系统的设计要求。PIC16F877A芯片中ADC的工作原理如图5所示。

从图中可以看到，PIC16F877A共有8个通道，与8个I/O引脚复用。这8个通道可以全部作为AD转换输入通道，也可以选择其中一部分用作AD转换，其他引脚作为I/O口来使用，PIC16F877A的ADC是10位的ADC，转换后输出的数字量在0x0000~0x3fff之间，0x0000对应于允许输入的最低电压（即参考低电平V_{REF-}），转换结果为全1时对应于允许输入的最高电平（即参考高电压V_{REF+}），V_{ref+}和V_{ref-}可以使用电源电压V_{dd}和V_{ss}，也可以分别连接到RA3和RA2，从芯片外部接入稳压源。这些设置工作通过PCFG3:PCFG0来选择。在进行AD转换时，对各通道是分时进行转换的，需要用CHS2:CHS0来选择哪一个通道接入ADC。

与AD转换有关的寄存器有ADCON0、ADCON1等，它们的定义如下：

表2 PIC16F877A的ADC控制寄存器ADCON0

位	7	6	5	4	3	2	1	0
描述	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DOWN	-	ADON

表3 PIC16F877A的ADC控制寄存器ADCON1

位	7	6	5	4	3	2	1	0
描述	ADFM	ADCS2	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

【例2】将音频信号的幅度随时间变化的情况显示在点阵屏上。

```
#include "pic.h"
uchar DispTab[]={1,2,6,4,8,4,3,5,8,2,3,4,5,6,0,7};
uchar Code1[]={0x7f,0x3f,0x1f,0x0f,0x07,0x03,0x01,0x0};
//这个表用来显示光柱
uchar Code2[]={0x7f,0xbf,0xdf,0xef,0xf7,0xfb,0xfd,0xfe};
//这个表用来显示点
uchar Conv;//如果这个值是0x55那就开始转换
void interrupt Timer1()
{    ……//变量定义
    if(TMR1IF==1&&TMR1IE==1)//判断是否为TMR1中断
    {    ……//参考例1
        if(ConvCount++>50)
        {    Conv=0x55;
             ConvCount=0;
        }
        //重置定时初值
    }
}
void init_AD()
{
    PCFG3=0;
    PCFG2=1;
    PCFG1=0;
    PCFG0=0;
    TRISA|=0x0b;//AN0,AN1,AN3相应引脚置为输入
    ADCS2=0;
    ADCS1=1;
    ADCS0=0;   //AD转换频率设为fosc/32
    ADFM=1;    // AD转换结果右对齐
    ADON=1;    //启用AD转换模块
}
uint GetADValue(uchar Channl)
{    ……//对指定通道进行AD转换，并返回转换结果
}

void main()
{    uint ADValue;
     uchar cTmp;
     uchar i;
……//初始化定时器、I/O口等，参考例1
     Init_AD();     //初始化AD转换器
     for(;;)
     {
         if(Conv==0x55)//要求开始一次转换
     {   Conv=0;//去掉转换标志
         ADValue=GetADValue();//进行一次转换
         cTmp=ADValue/127;//将这个值转化为在0~8之间
         for(i=15;i>=1;i--)
     {   DispTab[i]=DispTab[i-1];
      }
       DispTab[0]=cTmp;
       }
    }
  }
```

表中GO/DOWN位用于开始一次AD转换，ADON用于开启AD转换模块。

表中ADFM用来设定AD转换结果的对齐方式：ADCS2用来与ADCON0寄存器中的ADCS1和ADCS0配合，选择AD转换的时钟来源；PCFG3~PCFG0用来确定哪些引脚用作AD转换、哪些用作数字I/O口、参考电源如何选择等。

2. 采集音频信号并显示其特征

使用PIC16F877A内置ADC，可以对音频信号进行采样和分析，然后把分析的结果送到显示缓冲区中，这样就能够把音频信号包含的各种信息显示在点阵屏上了。本例仅做一个最简单的演示，即信号幅度随时间的变化情况。

【程序分析】main在初始化定时器、I/O口后调用Init_AD()初始化ADC，通过设定PCFG3~PCFG0来确定RA0、RA1和RA3用作AD输入通道，选择VDD和GND作为参考电源；设定AD转换的时钟来源为Fosc/32；设定AD转换的结果是右对齐；打开ADC。

在定时中断处理中增加了变量ConvCount，每次中断该变量加1，加到50时回零，并且将全局变量Conv置为0x55，从而在main函数中开始一次AD转换。转换结束后，将结果除以127，即使得最终的采样结果在0~7之间，然后将显示缓冲区中数值依次前移一位，并将此次转换后的结果存入缓冲区的最后一位。因此，本例中是每50ms采样一次音频信号的幅度，并且是依次传递显示，改变这些处理方式可以得到不同的显示效果。

程序中使用了两个表格Code1[]和Code2[]，当选择这两个表格时，可以得到两种不同的显示效果，Code1[]表使得显示如柱状图，而Code2[]则使得显示为点状，就像示波器图形。硬件电路中设计了键盘，读者可以自行编写程序练习，使用按键来控制各种显示效果。

小小荧火虫——定时器PWM功能的应用

◎周坚

“小小萤火虫，飞到西飞到东，这边亮，那边亮，好像许多小灯笼。”夏日到来，身在闹市的你，可否还能拥有在荧火虫夏夜与爱人相伴的那份浪漫？不要着急，让我们自己动手来圆这个梦。

荧火虫不就是灯的一亮一灭么，也就是一个闪烁灯而已，这是单片机入门的基本功课，有什么难的呢？然而我们好好观察一下，就可以发现，荧火虫的亮灭不是“数字式”的，而是“模拟式”的，也就是逐渐变亮然后逐渐熄灭，随后又是逐渐变亮的。那么用单片机控制LED令其亮度可以逐渐变化就是这里要解决的重要问题。

一、PWM技术

PWM是Pulse Width Modulation的缩写，意为脉冲宽度调制，也叫脉宽调制。它是调整电压的一种方法，其波形参考图1。

占空比 = T_p/T

对于矩形波而言，其平均电压可以用下面的公式表示：

$U=U_m\times$ 占空比

式中U_m是峰值电压，U是平均电压。

例如，当U_m=10V，占空比为50%时，平均电压U为5V。

要产生PWM波形，有很多种方法，这里介绍用PIC单片机模块中的CCP模块功能来实现。这部分内容看起来有些深奥，不过CCP功能目前非常普及了，几乎是所有高档单片机必备之功能，甚至廉价的单片机上也可找到它的身影，实在是避无可避，所以用这个例子来练练手，也算是为了学习高档单片机做些预热工作吧！作者将尽量用简单易懂的语言来做出解释。

二、PIC16F877A的CCP功能

如果直接画出PIC16F877A芯片中CCP部件的结构、列出与CCP功能相关的资源，那可算得上是相当的复杂，因为PIC16F877A的CCP部件有很多种功能，而且每种功能又有不同的设置，所以可以控制的部分特别多，令人望而生畏。为此，让我们丢开那令人心烦的内部结构、专有名词，从需要出发来看一看要产生一个PWM波形究竟怎么做。

我们讨论波形当然是指不断重复出现的周期性信号，所以必须要能够控制周期的长短，也就是要讨论图1中T的时间由哪些因素来决定。

PWM波形占空比是可变的，因此必须要能够控制PWM波形中高电平持续的时间，也就是图1中T_p的时间由哪些因素来决定。

有了这两点，一个PWM波形就决定下来了，看起来，这并不复杂，那下面就来看一看究竟是什么决定了周期T，又是什么决定了T_p？

1. PWM波形周期的决定

图2所示是一个10位的计数器，它有一个计数输入端，显然，计数输入端的频率越高，这个计数器完成一次计数循环（共计2^{10}=1024次数）所需的时间越短，反之则越长。这样，计数端的输入信号就决定了PWM波形的周期T。

那么计数器输入端的信号又从何而来呢？它来自于PIC16F877A的定时器TMR2。TMR2是一个8位的计数器，如图3所示是TMR2的结构简图。TMR2提供的输出信号频率取决于这样的几个因素。

（1）系统频率。即这个单片机通过外接晶振产生的时钟信号的频率，或者用芯片内部的RC振荡器产生的时钟信号的频率，也就是图3中的$Fosc$。

（2）前分频器。这个Fosc/4以后的信号并不是直接就送到TMR2的寄存器端，而是经过分频再送入。这个分频是可以由你（编程者）通过编写程序来控制，取1：1（不分频）、1：4或1：16三者之一，这通过图3中所示

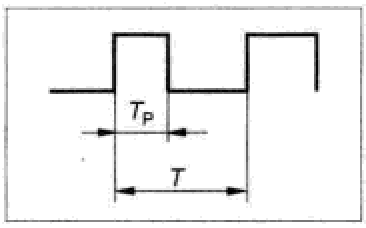


图1 PWM波形

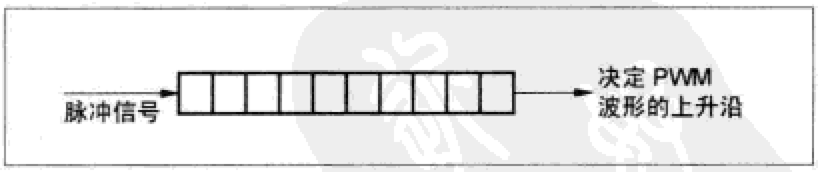


图2 10位计数器

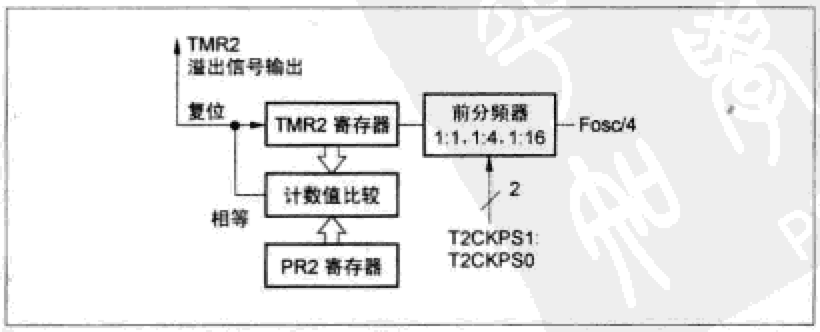


图3 TMR2的结构

的 T2CKPS1 和 T2CKPS0 两个位来设置。

（3）PR2寄存器，这是一个8位的寄存器，可以存放的数据从0~255。当TMR2中的值和PR2的值大小一致时，就产生了TMR2的输出信号，而这个信号将会被送到CCP模块去。

综上所述，最终PWM信号的周期可以通过下面的公式来计算：

PWM周期＝（$PR2+1$）$\times 4\times T_{osc}\times$ *TMR2*前分频，这其中×4是因为TM2的输入端是*Fosc*四分频的，而*Tosc*当然就是*Fosc*的倒数了。而那个*TMR2*前分频的可能值是1、4、16三者之一，具体是多少，取决于你如何设定T2CKPS1和T2CKPS0了。

呼，好好出口气，终于搞清了第一个问题，PWM周期知道了，接下来看一看那个TP又是如何决定的。

2. 占空比的决定

图4是非常简化了的工作于PWM的CCP模块原理图。从图中可以看到，每当TMR2的8位和附加2位计满到1024个数后，PWM周期生成比较器就会令输出引脚由低电平变为高电平，而当TMR2的8位和附加2位共10位的计数器与CCPR1H及附加2位的10位计数器中的值相等后，脉宽生成比较器就会令引脚由高电平变为低电平。

这样，问题就解决了。如果令CCPR1H及附加2位中的值是102，那么，高电平维持的时间（*T*p）将是102个计数周期，而整个PWM的周期是1024个周期，因此，此时PWM的占空比是102/1024≈10%，而如果CCPR1H及附加2位中的值是925的话，那么PWM的占空比将是925/1024≈90%.

但是图4和图3好像有点冲突，图3中可没有说到TMR2还有什么附加2位，它只是一个8位的计数器，怎么到了图4就变成了10位呢？究竟以哪个为准呢？答案是，二者并不冲突，正是由于图4中这附加2位的出现，所以才有图3中Fosc/4的出现，即给TMR2计数的不是Fosc而是它4分频的结果，这个4分频可以认为正是由图4中这附加2位来实现的。

图中还有一些如CCPR1L和CCPR1H关系及其附加2位等问题，留待下面程序分析时来解答。

三、萤火虫功能的实现

CCP功能的引脚与RC2复用，如图5所示是实现萤火虫灯的电路图。

图中B1与C1、C2构成晶振电路，R1将复位端MCLR上拉，LED通过限流电阻R2接到CCP1引脚，J1是仿真及下载接口。图6是用洞洞板制作出来的电路，准备好材料，不超过30分钟就能做好。

硬件制作完成，可以开始编程，以下是第一版程序。

程序分析

通过一段时间的学习，大家肯定有个印象，要令单片机中的某个部件按要求工作，一定要设置该部件对应的控制寄存器，因此，掌握控制寄存器的用途就成了学习单片机的重要工作。

控制定时器T2的寄存器名为T2CON，表1是该寄存器各位的用途说明。

看清了T2CON的结构，不难看出T2CON=0x0c的含义了。0x0c写成二进制就是00001100，预分频控制为00，T2ON为1。

要让CCP模块按要求工作，就要设置好CCP的控制寄存器，表2是CCP1CON的用途说明。

其中CCP1M3~CCP1M0就是用来设置工作模式的，如果要将CCP1模块设置成PWM方式，只要令这4位为11xx即只要CCP1M3、CCP1M2设定为1即可，不必理会CCP1M1和CCP1M0

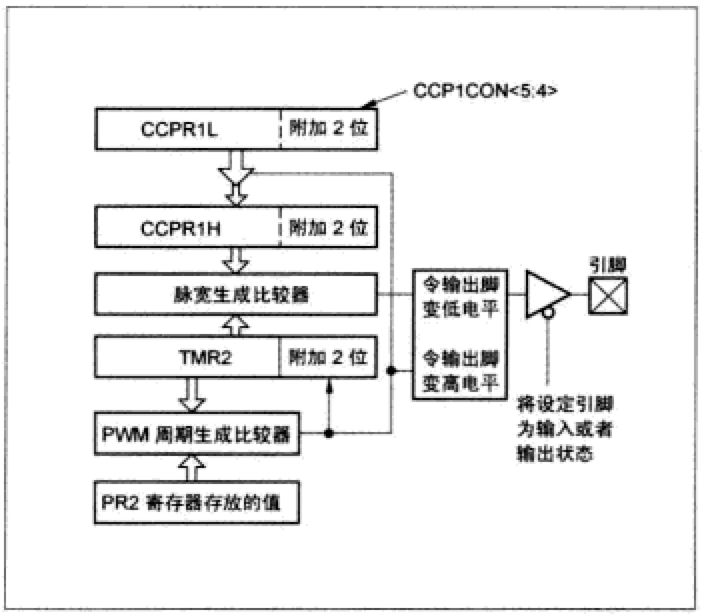


图4 非常简化的工作于PWM模式的CCP模块图

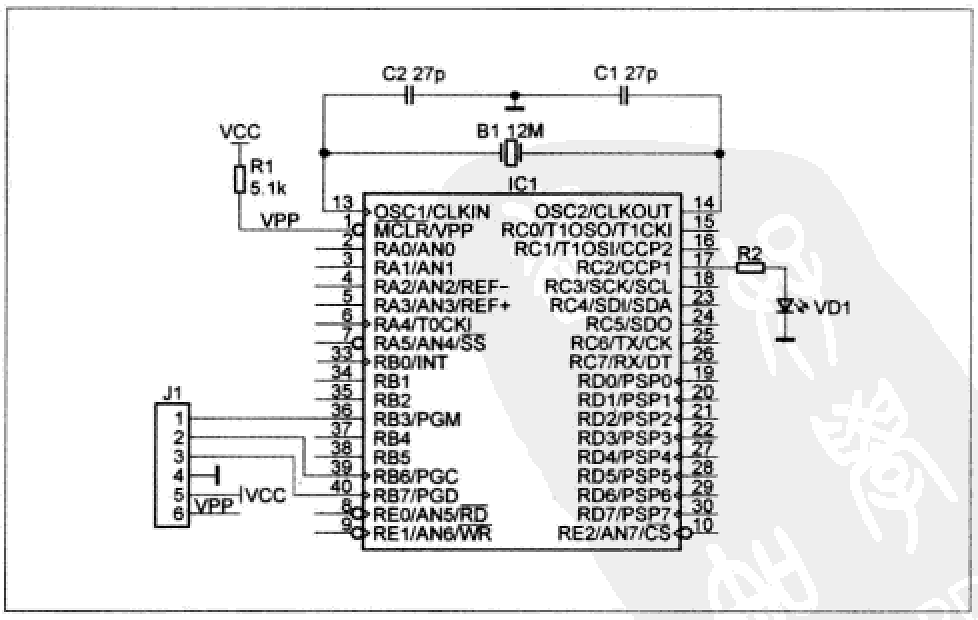


图5 萤火虫灯电路

【程序1】萤火虫测试程序

```
#include "pic.h"
__CONFIG(HS&WDTDIS&LVPDIS);
//配置文件，设置为HS方式振荡，禁止看门狗,低压编程
关闭
/*延时程序，由参数Delay确定延迟时间*/
void mDelay(unsigned int DelayTime)
{    unsigned int temp;
     for(;DelayTime>0;DelayTime--)
     {    for(temp=0;temp<270;temp++)
     {;}
     }
}
void SetPeriod(unsigned int Period)
{    unsigned char cTmp;
     cTmp=Period>>2;
     CCPR1L=cTmp;
     cTmp=Period<<4;
     cTmp&=0x30;//clear other bit
     CCP1CON&=0xcf;//
     CCP1CON|=cTmp;
     TMR2ON=1;//开启TIMR2
}
void main()
{    unsigned int Period=1;
     unsigned char UpDown=1;
     T2CON=0x0c;//启动TMR2，预分频1:1
     //以下设定为PWM工作方式
     CCP1M3=1;
     CCP1M2=1;//CCP1M3 CCP1M2 CCP1M1 CCP1M0
=11XX设定为PWM工作方式
     PR2=255;//设定PWM波的周期
     TRISC2=0;//将CCP引脚设为输出
     TMR2ON=1; =//开启TIMR2
for(;;)
     {    SetPeriod(Period);
          if(UpDown)
     {    Period++;
          if(Period==999)
          UpDown=0;
     }
     else
     {    Period--;
          if(Period==1)
          UpDown=1;
     }
     mDelay(10);//10ms
     }
}
```

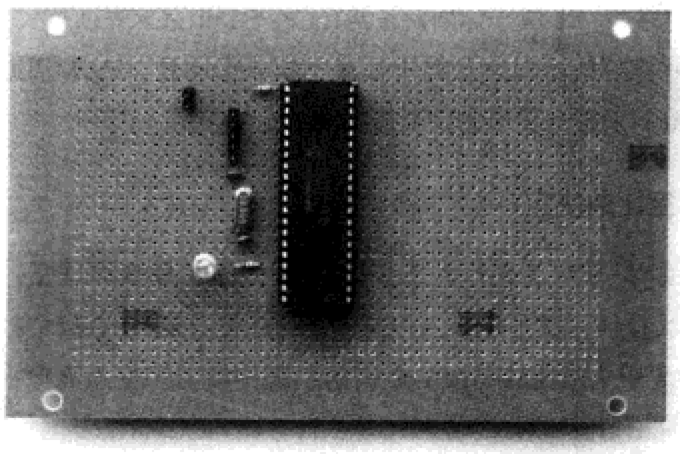


图6 制作好的实验电路

表1 寄存器T2CON各位的用途

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	未用	后置分频控制，当它们从0000变化到1111时，分频比从1：1~1：16变化				T2ON	预分频控制 详见文中说明	

表2 寄存器CCP1CON各位的用途

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	未用	未用	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0

的值。

CCP1X和CCP1Y就是图4中CCPR1L后面所示附加2位，它们和CCPR1L配合形成10位的计数器。

在CCP模块实现PWM功能时，CCPR1H及其后的附加2位是不能通过程序来控制的，它们被固定作为CCPR1L及CCP1X、CCP1Y的镜像，每个PWM周期更新一次。这样，我们可以随时更新脉宽的值，不必担心它会与当前PWM脉宽数据产生冲突。TMR2后面的附加2位是芯片内部的，并且它不能通过程序来控制，因此我们不必理会。这2位和TMR2的8位共同构成了10位计数器，这个10位计数器与CCPR1H及附加2位构成的10位计数器的比较决定了脉宽。

接下来计算一下PWM周期，设所用晶体为12MHz，不分频，那么$Tosc$=0.083μs。

PWM周期＝（$PR2+1$）$\times 4\times Tosc\times TMR2$预分频

【程序2】通过人工调整LedBright来改变亮度的程序，其中SetPeriod函数与程序1相同。

```
void main()
{    unsigned int LedBright;
     T2CON=0x0c;//启动TMR2，预分频1:1
     //设定为PWM工作方式
     CCP1M3=1;
     CCP1M2=1;//CCP1M3 CCP1M2 CCP1M1 CCP1M0
=11XX设定为PWM工作方式
     PR2=255;//设定PWM波的周期
     TRISC2=0;//将CCP引脚设为输出
     TMR2ON=1;//开启TIMR2
     SetPeriod(LedBright);
     For(;;)
}
```

【程序3】使用查表的方法来做的荧火虫灯程序。

```
void main()
{    unsigned int Period[20]={10,15,20,25,30,35,50,75,100,
150,200,250,280,350,410,480,550,630,750,800};
     unsigned char i;
     T2CON=0x0c;
     //启动TMR2，预分频1:1
     //设定为PWM工作方式
     CCP1M3=1;
     CCP1M2=1;//CCP1M3 CCP1M2 CCP1M1 CCP1M0
=11XX设定为PWM工作方式
     PR2=255;//设定PWM波的周期

     TRISC2=0;//将CCP引脚设为输出
     TMR2ON=1;//开启TIMR2
     for(;;)
     {    for(i=0;i<20;i++)
          {    SetPeriod(Period[i]);
               mDelay(150);//10ms
          }
     for(i=0;i<20;i++)
          {    SetPeriod(Period[19-i]);
               mDelay(150);//10ms
          }
     }
}
```

$=256\times 4\times 0.083\times 1\approx 85.333\mu s$

即PWM波形的频率为：11.7kHz。

程序进入无限循环以后，每10ms改变一次Period的值，并且当Period等于1023时将Updown变量由0变为1，而当Period等于0时，将UpDown由1变为0，这样就形成了上升和下降的过程。随后调用SetPeriod函数来设置CCPR1L及附加的2位。

按我们的想像，当占空比从1%变化到99%时，灯将会如荧火虫一样一闪一闪地发光。结果事实令我们大失所望，灯的明暗变化那是有了，可是变化的样子根本不像荧火虫的发光。问题何在呢？原来这段程序非常线性地控制了流经LED的平均电流，但电流的线性并不意味着LED发光强度的线性，更不意味着与荧火虫发光的过程一致。如何解决这一问题呢？

理想的方法是：抓个荧火虫，关在黑盒子里，放个照度计，每隔一段时间采样一次，如实记录下光亮强度与时间关系的曲线；然后研究LED的亮度，同样将发光管置于黑盒子中，通过调节流过发光管的电流，拟合出一条与荧火虫发光过程一致的曲线出来。

这似乎太离谱了吧，我只想尝尝苹果的滋味，你却让我从种苹果树开始工作？当然，这个练习中我们不会这么做。但是这里提出这个问题绝非玩笑，事实上很多单片机初学者会把完成一个项目当成是“编写程序”，进行预算时考虑很不周到。殊不知编程仅仅只是项目很小的一部分工作，大量的工作是在程序之外做的。由此造成项目的误工、误期乃至各种纠纷。也许能不能考虑到这些程序外的东西可以作为老鸟和菜鸟的区分吧？

闲言少叙，回到任务中来。为避免浩大的工程，我们就借助于自己的眼睛作为仪器，来大致地确定一下LED的亮度等级。因为不想节外生枝再来做个数码管用作显示，所以这里用了最原始的方法来做这个工作。程序2是一段调整数码管亮度的程序，变量LedBright的值决定了LED的亮度。不断改写LedBright，然后重新编译、链接，再将得到的代码写入芯片来观察LED的亮度。为简单起见，这里将LED的亮度分成20等分，通过人眼大致判断的方法来确定对应的LedBright值的大小。和理想的方法相比，这是一个非常原始和粗略的方法，但就是这样，要分出这20个级别来，要花的时间也不少，建议读者都能够动手做一做以体会其中的艰辛。从作者的经验来看，不同型号的LED对于参数的影响很大，如果使用高亮度LED，R2应取1kΩ，而普通亮度的LED，R2可以取330Ω。另外，各人眼光也不尽相同，作者获得的数据未必与你得到的一致，因此自己做一做是很有必要的。

通过实验，确定了 20 个数值对应 20 级亮度，那么程序 3 就是用来实现荧火虫灯了。这段程序就不再多作解释了，这里使用了查表的方法来确定亮度的变化。将程序写入芯片运行，马上就能看到 LED 的变化了，瞧，一闪一闪，那不正是夏夜里的荧火虫吗？

综合应用——现场可编程彩灯控制器

◎周坚

彩灯控制器，大家一定不陌生，现代城市的一大特色就是各种色彩的灯光，不管发光的元件是什么，它们都离不开彩灯控制，而学习单片机的人，又有谁没有编过几个流水灯程序呢？那么这里介绍的控制器又有什么特点值得大家来学呢？

基于 PIC 单片机：如果读者有 51 单片机编程经验而希望学习 PIC 单片机，那么这里提供的是一个完整的 PIC 项目的样本。

实用：这里提供的是一个可以供实际使用的项目，你完全可以直接用到自己工作中去。城市中这类项目较多，而且规模不大，适宜于新手入门时承接。

现场可编程，看看别人的灯光控制，总是那几个花样：顺序点亮，逆序熄灭，左右拉门……一年365天，天天如此，是否觉得太过枯燥？这里提供的是现场可编程的控制器，可以随时改变花样，基本上，它只受限于你的想像力。当然，控制能力强了，也就是你的竞争力强了。

说了那么多，是不是你心动了，那让我们开始吧。

一、控制器功能介绍

控制器由主机和灯光驱动板两部分组成，如图1所示，安装在机壳中的是主机部分，它由电源驱动板和主控板两部分组成。盒子外部装有多个端子的电路板是灯光驱动板，通过排线与主机相连。

控制器的主要参数如下：输出路数：16路；输出功率：每路不小于1000W；可编程步数：32步，每步持续时间：0.1~9.9s；每步循环次数：0~99。

为了解释清楚这些参数的具体含义，下面举几个例子来说明。

【例1】16路输出，每路接1盏灯。要求依次点亮，每灯点亮时，前面一盏灯熄灭掉。以此为周期循环。

对于这个控制要求，需要用到的编程步数是16步。对于每一步，需要编写如下内容：（1）当前步哪盏灯被点亮；（2）该灯持续的时间（0.1~9.9s）有多长。由此描述可知，这个控制可以做到任意顺序控制，即可任意定义哪一盏灯为第一，哪一盏灯为第二，不需要更改硬件连线。

【例2】有8盏灯需要控制，要求1、2、3三盏灯依次点亮，循环3次，然后第4、5号灯依次点亮，并循环2次，接下来的第6、7、8号全亮，然后三盏灯依次熄灭。以此为周期不断循环。

对于这个控制要求，需要用到的编程步数是10步。第1、2、3步控制3盏灯依次点亮及每步持续的时间，在设定第3步时

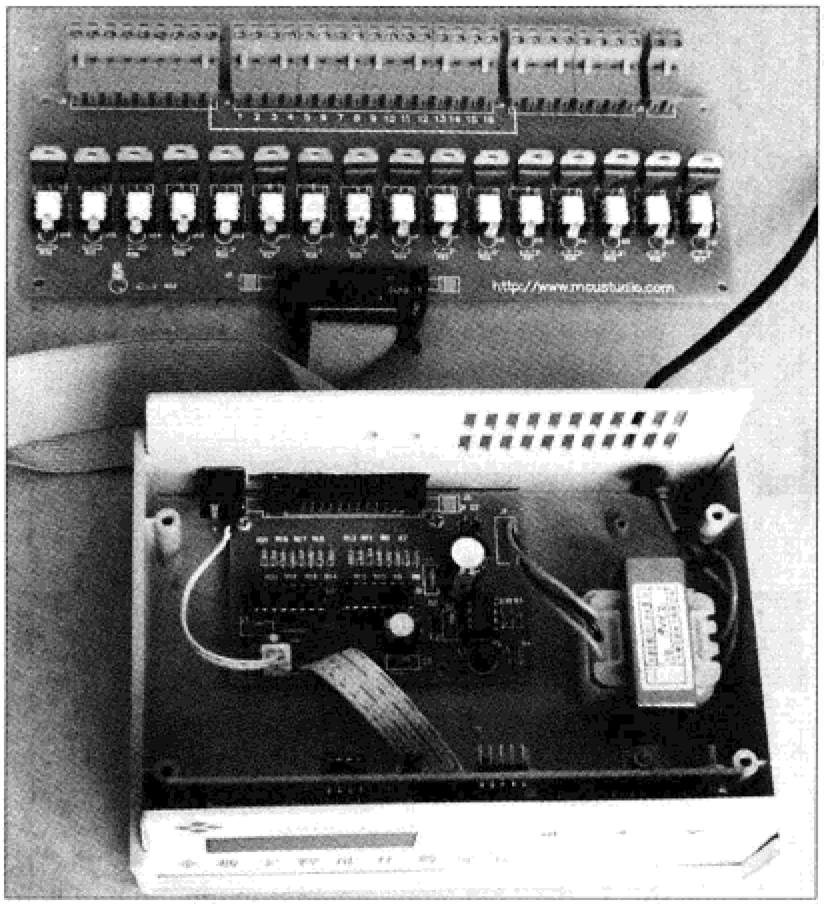


图1 现场可编程彩灯控制器整体

除设定该步点亮的时间以外，还要设置循环次数为3；第4、5步分别设置点亮的灯和持续时间，且第6步设置循环次数为2，第7步是设置三盏灯全亮及持续时间，第8、9、10步分别设定三盏灯依次熄灭及每步持续的时间。

需要说明的是：上面所说的可编程是指工作现场可编程，这个编程不需要电脑，只是利用控制器上的小键盘和数码管来进行编程。

二、硬件组成

在了解这个控制器的功能以后，下面来看一看如何实现这个控制器。该控制器由3部分组成，分别是主控板、电源板和灯光控制板。

如图2所示是主控板的电路原理图。主板使用了PIC16F73为控制芯片，外接5位数码管和5个按键，SPI接口芯片93C46用作参数的保存，预留了ISP接口。板上还留有7805稳压芯片的位置，如果在其他制作中使用，电源板不能提供5V电压，可以通过7805稳压后给单片机供电。主板使用8根外接引脚输出。

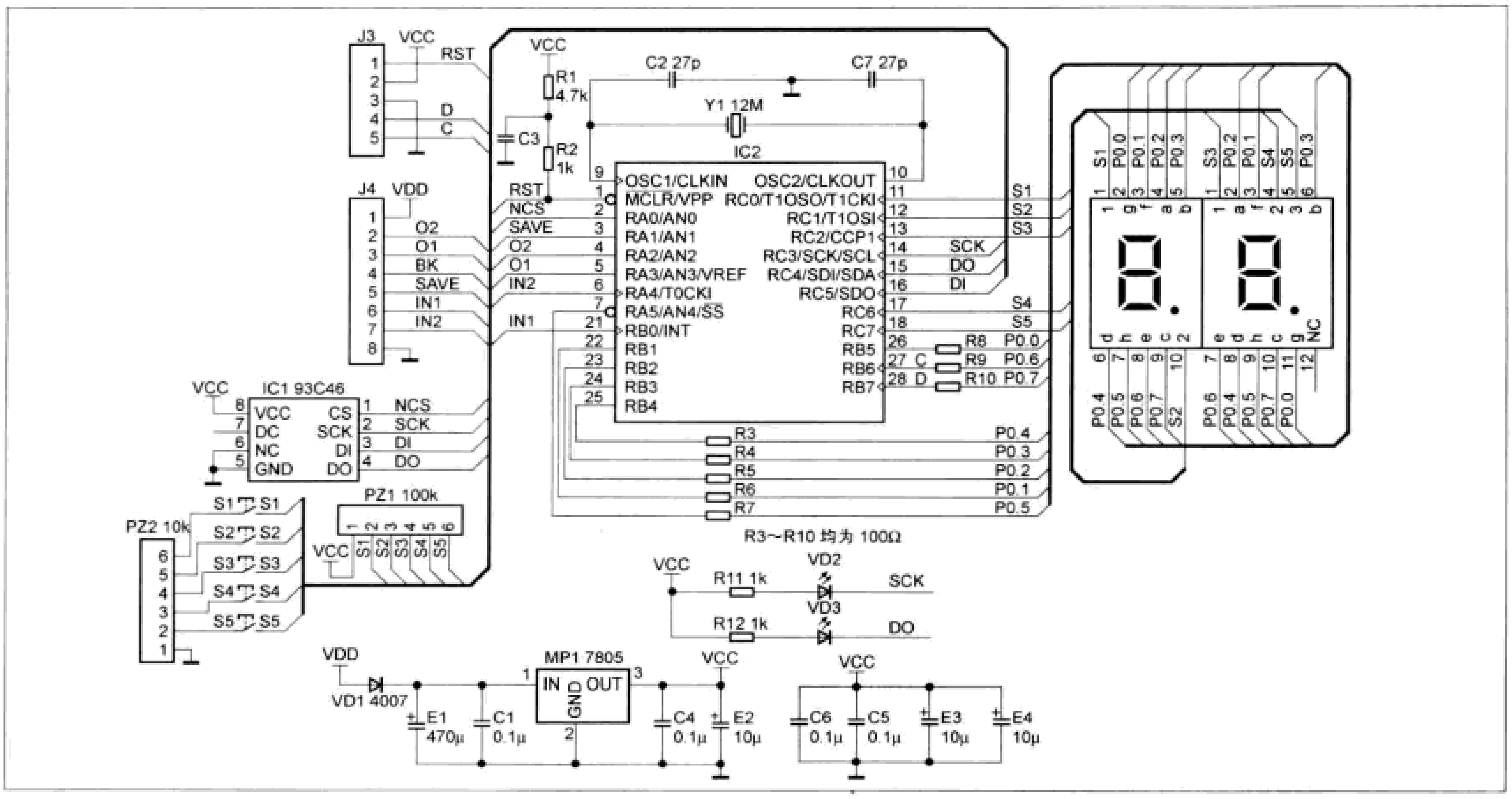


图2 主控板电路

图3所示是电源驱动板电路原理。该板有整流、滤波电路，34063制作的稳压电源，用于对主板及输出板供电。2只74HC595扩充输出接口，形成16路输出。该板留有一个8针插座，可与主板相连，有一个20Pin的插座，用来和灯光驱动板相连。

图4是灯光驱动板的部分电路，由于16路驱动输出完全一致，因此省略了部分电路。板上共有16路光耦输出，用来驱动晶闸管。

板上所用的光耦和晶闸管分别是MC3020和BTA06，BTA06在安装适当的散热器以后可以通过6A的电流，因此，理论上每一路可带约1200W的负载，16路共可带1200×16=19200W负载。当然，受限于印制电路板的电流通过能力及端子能够承受的电流，所有路数能够控制的功率远远达不到这么多，具体能达到多少，取决于所选择的端子的电流通过能力、对印板铜线的处理、散热的处理等。印制电路板设计时电流通过能力有所考虑，预留了一些焊盘，必要时可以加焊粗铜线来增大电流通过能力，如图5所示。

三、软件编程

单片机工作时，分成两种状态：设置状态和运行状态。当工作于设置状态时，通过键盘来设置各种参数，并将参数保存在93C46芯片中。当工作于运行状态时，单片机从93C46芯片中依次读取各参数，并按参数的设定值运行。

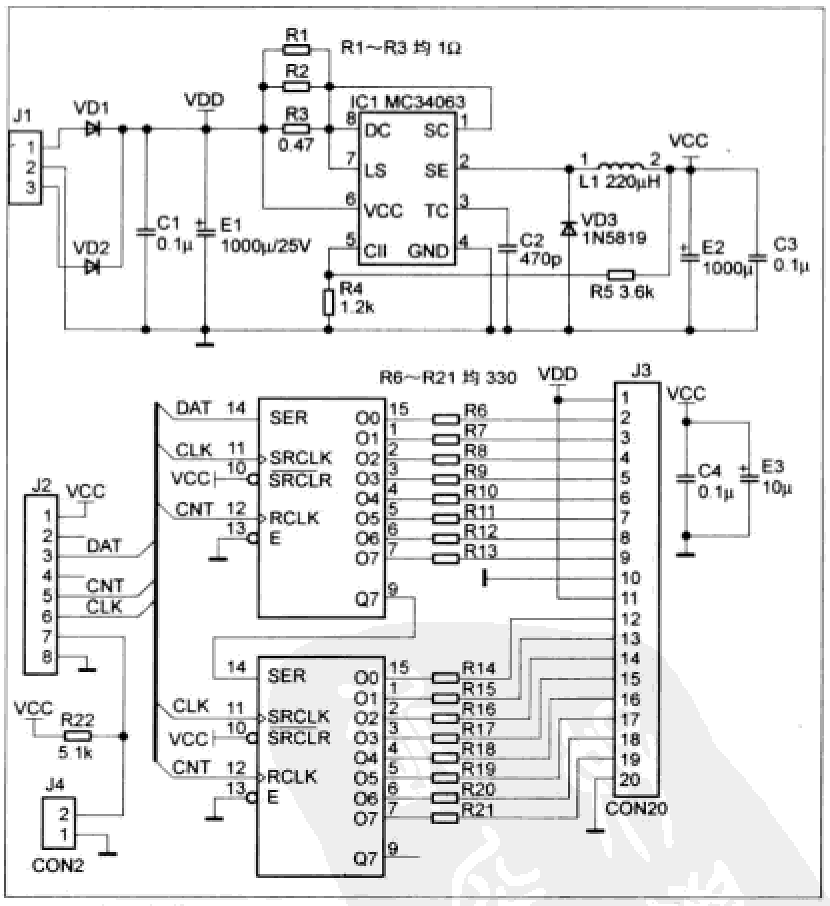


图3 电源输出板电路

1. 参数的含义

该控制器最多可达32步，每一步有4字节参数与之对应，它们分别是：第1和第2字节为当前灯亮灭情况（2字节，16bit

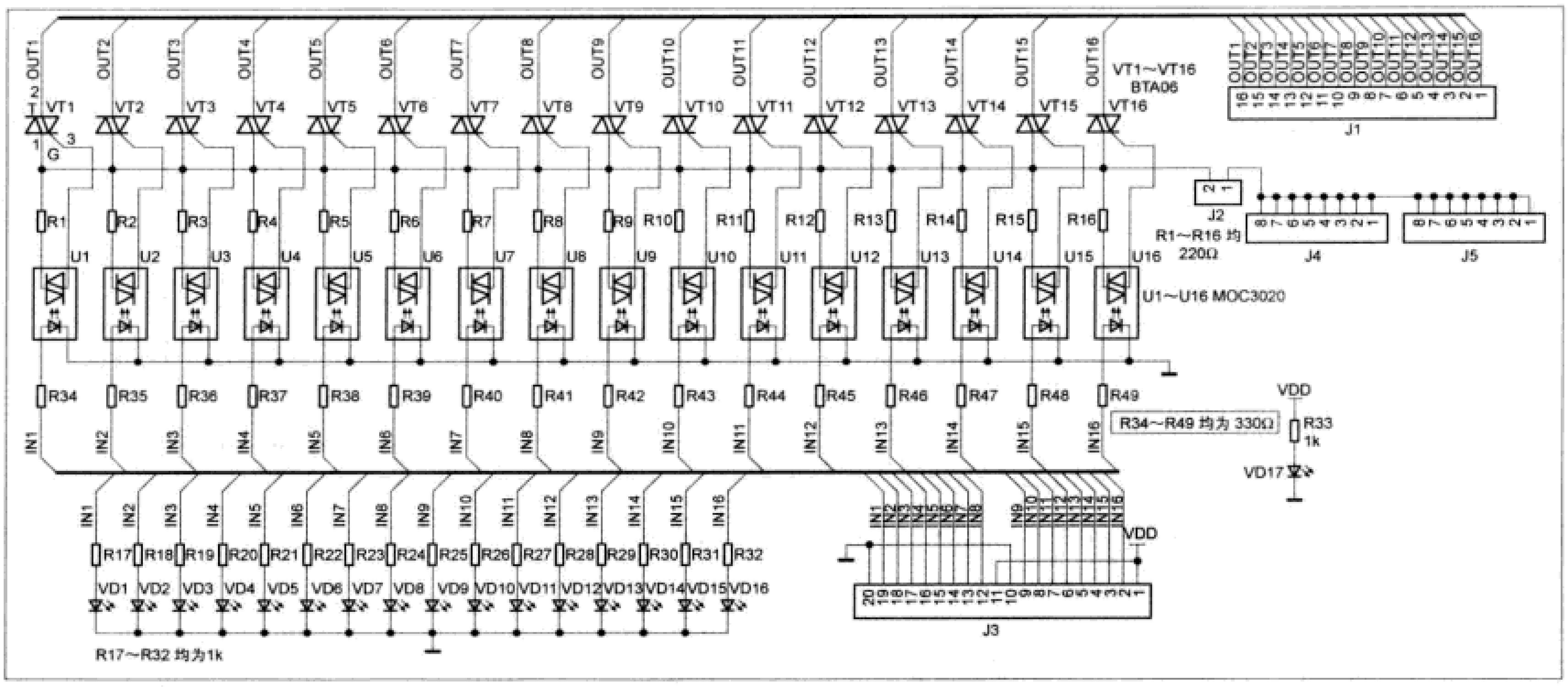


图4 灯光驱动板电路

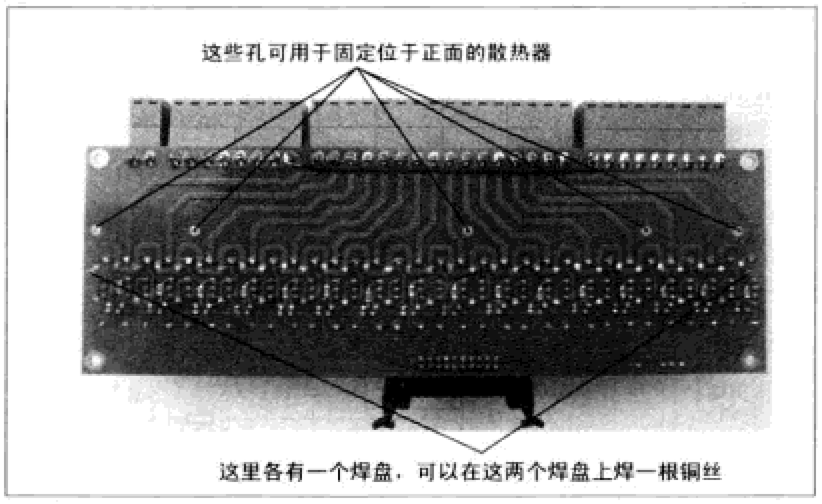


图5 印制电路板背面

对应 16 盏灯），第 3 字节为当前状态持续的时间及循环标志，每步持续时间在 1 ~ 99 之间可调，另可设定当前循环状态；第 4 个字节是循环步数控制，如果当前是循环步，那就要定义循环的次数，这个次数可以在 1~99 之间变化。

2. 参数的设置

硬件电路设定使用一只开关作为运行和编程状态的切换，该开关连接RA4，即RA4引脚为0时进入运行状态，而RA4引脚为1时进入参数设定状态。电路有“设置”键和上、下、左、右4个方向键。

（1）进入设定状态：此时首位数码管显示H，后两位显示01，表示目前为第1步，末两位显示的数字表示当前状态维持的时间值，单位为0.1s。以H0115为例，表示当前为第1步，该状态将维持1.5s时间，该状态下哪些灯被点亮，直接由输出驱动板上的LED显示出来。

（2）查看各步设置：按“设置”键，首位数码管显示A，此时按上、下键可以改变当前步数，最小为1，最大为32。当步数改变时，第4、5位的数码管同时显示该步的持续时间，同时输出驱动板上的LED指示当前灯亮灭的情况。如A0530表示第5步将被显示3s。

（3）改变各步设置时间：某一步需要改变设置时间时，按下“设置”键，首位数码管显示B，按上、下键改变时间设定值，设置为00~99，其中00为结束标志，如在程序运行中遇到该值，说明本步不被执行，从上一循环点开始循环。

（4）设定循环标志：在设置时间时，如果按下左键则点亮步数计数器末位即第3位数码管上的小数点，这是用来设置循环标志，再次按下左键可以移去该标志。这个标志被保存在时间值中，方法是将设定的时间值加上100。设某步持续时间为5s，如果没有循环标志，则该数被存为50，如果有标志，则该数被存为150。如b0535表示第5步设定的时间为3.5s，且在本步设定循环标志。因此，保存在93C46中的第5步数据中的第3个字节将是135。

（5）设置循环次数：设置循环标志后，需要设置循环次数。按“设置”键，首位显示C，此时第4、5位显示的是循环次数，可以按上、下键进行调整，调整范围为1~99。如C0503表示本循环点设定为3次。

（6）设置每一步灯的亮/灭状态。设置完循环次数以后，按下“设置”键，首位显示d，进入输出状态调整状态。此时，第4、5位数码管显示的是当前操作位，即1~16位，用左键来改变当前操作位，如d0301所示是正在调整状态3的第1盏灯的亮灭

状态。可以观察驱动板上LED第1个LED的亮灭状态，如果不符合自己的要求，可以通过上键或下键令这个LED亮或灭。

特别需要说明的是，由于设置较为复杂，用户有时会搞不清楚设定方法，将设定值调乱，为此，程序中特别设置了恢复初始状态的功能。如果设置混乱，可以在首位显示H时，按下清零键约3s不放，此时93C46内存储的数据清除，回到初始状态。

当RA4引脚为0时，进入运行状态，此时按键不再起作用。

运行状态设置了一个步数计数器（WorkStep），通过该计数器的值即可计算出当前步各参数在93C46芯片中的保存地址。根据地址读取表示当前步显示状态的第1、2两个字节并保存于变量Number[0]和Number[1]中。读取表示当前步持续时间的第3字节并保存于变量WorkTim中，如果该值为0，说明要求从头开始循环，则清除各计数器及各标志以回到第1步开始运行，如果该值小于100，则直接将该值保存在时间控制计数器中，如果该值大于100，说明该位有循环标志，将该值减去100保存在时间控制变量中，接着读出表示当前循环次数的第4字节并保存在循环次数计数器wLoopNum中。

当有循环要求时，将保存前次循环标志步数的变量送入步数计数器中，同时将循环步数计数器减1，设置好标志，说明当前正在循环当中，这样，当程序执行到写有标志的步数时，不再从循环次数存储器中读循环次数并放入循环计数器中。同时判断此时的循环计数器的值是否为0，如果是，则不再循环。将当前步数送入保存循环标志的变量中，回到程序中继续执行。

3. 程序编写

本程序使用C语言编写，由PICC编译。程序由LED数码管显示、键盘处理、93C46读写等部分组成。

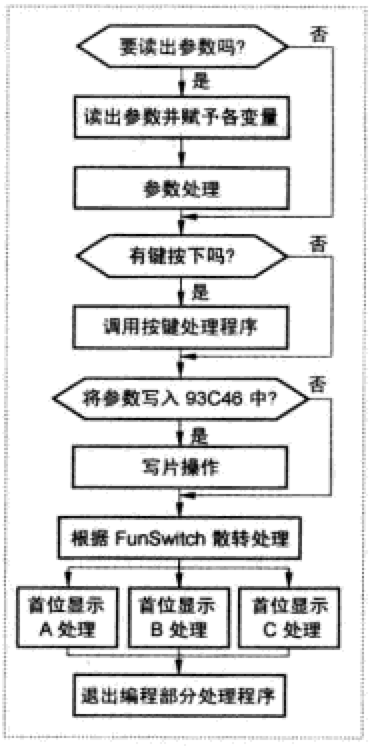


图6 现场编程工作状态流程

（1）定时中断程序

通过定时中断来实现LED数码管显示并做了1个精度为0.1s的定时器sT1，在程序进入运行状态时，sT1用作当前步数的计时。PICC的中断程序写法与C51稍有区别，它使用关键字interrupt来说明某段程序是中断程序。对于PIC的中级系列（PIC16系列）来说，中断没有优先级之分，所有中断都只有一个入口，在进入中断以后，通过中断标志来判断进入了何种中断。程序使用定时器T1每4ms产生一次中断，中断入口程序的写法如下：

定时中断程序

```
void interrupt Disp()
{     uchar Code;
      ……
      //变量定义
      uchar DispBit; //控制显示(5位中的)某一位
      if(TMR1IF==1&&TMR1IE==1)//Timer 1 中断产生
{
      TMR1H=-(12000/256);
      TMR1L=-(12000%256);//重置定时初值
      ……
```

进入中断后，如果TMR1IF（定时器TMR1中断标志）和TMR1IE（定时器TMR1中断允许）位同时为1，说明是TMR1产生了中断，可以接下来写定时中断的相关代码。限于篇幅，这里就不具体写出如何实现软件定时器及数码管的代码了，读者可以自行阅读相关源程序部分。

（2）按键程序

按键采用I/O分时复用的方法，进入键盘处理程序后，先将与按键相关引脚的状态保存下来，然后将这些引脚置为输入状态并略作延时，随后采集引脚的状态。采集完毕，立即将引脚置为输出，并恢复采样前的状态，以免造成显示的混乱。相关代码如下：

按键程序

```
GIE=0;//关闭中断允许
tmp=PORTB;//暂存PORTB的值
PORTB|=0xfe;//PORTB用于数码管的段位全置1
TRISC|=0xC7;//PORTC的高2位和低3位设为输入
uDelay(5);//短暂延时
Key=PORTC;//取PORTC口的值
Key=Key|0x38;//中间三位置1
TRISC&=0x38;//高2位低3位仍设为输出
PORTB&=tmp;//恢复PORTB的值（不影响RB0的值）
GIE=1;//开启中断允许
```

有关按键处理的其他代码，这里就不再一一列出了。

（3）main函数中的编程状态处理程序

在main函数中，根据变量RunStatus来决定工作于编程状态还是运行状态，而RunStatus由RA4引脚的电平来决定，RA4通过安装于主机上的开关来选择是否接地。当RunStatus为0时，进入编程状态。

进入编程状态后，令各标志字及变量回零，然后根据变量

ReadPara来决定是否要读出当前的步数的4字节设定值。变量ReadPara是一个全局变量，键盘处理程序中操作到表示步数的变量时即将该变量置1。因此，每次步数改变，就会读出新的参数值。在刚刚进入编程状态时，数码管首位显示H，在次2位显示步数，末两位显示时间。然后不断调用键盘处理程序，在键盘处理程序中对灯亮、延时时间、循环标志、循环次数等进行操作。Main函数则根据变量FunSwitch的变化来改变显示缓冲区，以显示相关内容。每次设定完毕，将当前设定值写入93C46中。该部分工作流程如图6所示。

（4）main函数中的运行状态处理程序

当RunStatus的值为1时，进入运行状态。运行状态中使用了多个变量来记录当前步、上一个循环步、当前最高步数等。

其中变量WorkStep用于记录当前工作步数，该变量从0开始逐渐增加，遇到内部循环要求时，又有可能从一个比较大的值变到比较小的值。例如，设定第3步到第5步循环3次。则当运行完第5步以后，WorkStep将回到3再次执行第3步，直到3~5步的3次执行完毕，WorkStep将从5变为6继续往下执行。

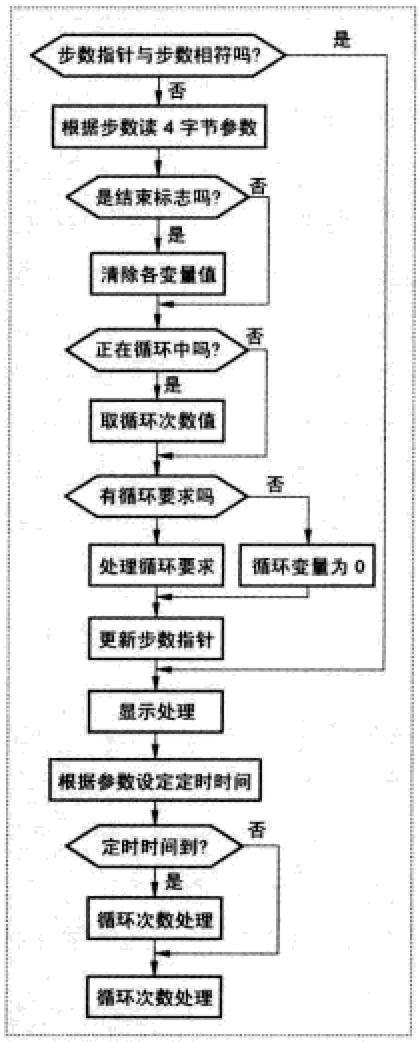


图7 运行状态流程

变量TopWorkStep记录工作步数的顶部。如上例，TopWorkStep将从0开始逐渐增加到5，虽执行完第5步后要返回第3步执行，但变量TopWorkStep将维持5不变。

变量LoopStep记录当前设有循环标志的工作步数，如上例中LoopStep等于5，变量pLoopStep记录上一次设有循环标志的工作步数，如上例中pLoopStep=3。变量pWorkStep用于辅助说明当前工作步数已发生变化，要求根据当前的工作步数重新读取相应变量并赋值。

变量WorkTim用于记录当前步的工作时间，即它等于每步4字节参数中的第3个字节（无循环标志时），或者将第3个字节减去100（有循环标志时）；变量wLoopNum表示当前循环次数，即它由4字节参数中的第4字节来赋值，并在内部小循环一次后减1。运行状态的流程如图7所示。

在运行状态中，有一个精度为0.1s的软件定时器sT1在起着重要作用，正是它推动着工作步数一步一步地往前进或者往后退。每当执行到一个新的工作时，会读取4字节的参数，第1、2字节被送到74HC595芯片中；第3字节为当前步的工作时间，这个值用来设置sT1。如该值为15，那么sT1将会在1.5s后执行时间到的相关处理代码。如果当前步是循环点且循环次数控制变量wLoopNum还未减到0，则令WorkStep等于pLoopStep，将循环标志wLoop置1，循环次数控制变量wLoopNum减1。如果当前是循环点但循环次数已减为0，说明内部的小循环结束，令WorkStep加1，清循环标志wLoop，更新pLoopStep，令其等于LoopStep，而LoopStep则变为0。如果当前步不是循环点，那么直接令WorkStep加1即可。

另外一个重要的变量LoopStep的设置是在每次WorkStep发生变化以后，WorkStep是在sT1定时时间到以后发生的变化，此时变量pWorkStep尚未发生变化，因此程序行：

```
if(pWorkStep!=WorkStep)
```

满足要求，将执行从93C46中读取参数的程序。如果当前有循环标志（第3字节大于100），则根据TopWorkStep是否等于WorkStep来判断当前是否是最高步。如果是，则令变量LoopStep等于WorkStep。

另一个重要的变量是循环次数wLoopNum，前面提到这个变量的减1操作，那么它的赋值操作就在读取当前步的4字节参数之后。在参数读取完毕后，根据变量mLoop是否为1来判断当前是否正工作于内部小循环中。如果正在工作于内部小循环中，则不必更新变量wLoopNum，否则说明有进入内部小循环的请求且还没有设定wLoopNum，那就根据读到的第4字节来更新wLoopNum。

在设置过程中其他的操作还有对显示缓冲区的操作，将WorkStep显示在数码管的第2、3位上，这个工作在每次循环中进行一次。

四、制作与使用

作者提供了印制电路板图。首先安装电源板，安装好后通电测试，检查输出电压是否为5V。然后安装主控板，按PCB图安装，注意数码管安装在底层，其他元件安装在顶层。安装完成即可与电源板联机调试，此时已可进入编程和运行状态。最后安装灯光驱动板，由于涉及220V交流电压，因此要特别小心。安装完成后，在各输出端和电源端之间接入一个25W的灯泡。用一个5V的稳压电源来进行调试，电源负端接到灯光驱动板的接地端，即J3的第10和第20脚上，然后用导线分别短接J3的1~8引脚、12~19引脚分别与+5V端短接，此时板上相应的LED点亮，而该路晶闸管导通，所接灯泡被点亮。依次连接，查看是否能够分别点亮16只灯泡。一切正确后，即可将三块板联机调试，其中电源板和灯光控制板使用一根20芯排线来连接。

◎吴汉清

复费率电能表

电力生产的特点是发电和供电同时进行，电能不像其他商品一样在流通过程中可以储存。电力负荷是在变化的，当电力负荷处于高峰时，如果负荷超过发、供电设备的供电能力，情况严重时往往需要拉闸限电，而当电力负荷处于低谷时，会使发、供电设备的容量不能充分利用，导致水电厂大量弃水，浪费水力资源，火电厂低负荷运行，系统运行严重浪费。解决这个问题的方法之一就是实行分时电价，从经济上鼓励用户在负荷低谷时段多用电，达到避峰填谷的目的。实施分时电价的具体方法是使用复费率（分时计度）电能表对用户在电力负荷高峰及低谷时段的用电量分别进行计量，以便按不同的价格收取电费。

现在供电系统使用的复费率电能表全电子式的比较多，本文就介绍一种用电子式电能表改制的全电子式复费率电能表，通过制作你可以理解其工作原理和编程方法。

总体设计方案

复费率电能表把一天分作两个时段分别对用电量进行计量，峰时定为8:00~21:00，谷时定为21:00~8:00，也可以根据需要通过修改程序来改变时段或增加时段。数码管循环显示峰电量、谷电量、总电量和时间，每个参数显示持续时间为2s。用红外遥控器对时间进行调整。

硬件电路设计

电路由两部分组成：红外遥控器电路和电能表电路。

1. 红外遥控电路

红外遥控电路见图1，在上一次电路的基础上，把电源开关S1改为带自锁的按钮开关，增加两个按钮开关S2、S3分别作“时”和“分”时间校准调节。

当S2、S3没有按下时，其对应的单片机PIC12F629的引脚GP2、GP1在内部上拉电阻的作用下为高电平，GP0输出低电平，红外发射二极管VD无红外脉冲信号输出。当S2或S3按下时，GP2或GP1输入低电平，GP0控制VD输出相应的红外脉冲调节信号。为了防止用户自己调节时间，改变计价时段，红外脉冲调节信号是加密的，当电能表接收到脉冲信号判断密码正确时才能调节时间。

“调时”和“调分”对应的红外脉冲信号见图2，对应的密码分别为0x8f3b和0x4eec。

2. 复费率电能表电路

复费率电能表电路见图3，电路和上一期相同的部分不再赘述。发光二极管VD4、VD5作数码管显示状态指示，其对应关系见表1，数码管按表中顺序循环显示。

电能表的时钟功能也由单片机来实现。

VD6、R16和3.6V充电电池组成单片机电路备用电源电路，保证停电时单片机正常计时。正常情况时VD6截止，5V电源通过电阻R16对充电电池充电，由于充电电流只有0.5mA左右，属于涓流充电，因此长时间充电不会损坏电池；停电时VD6导通，电池向单片机供电，由于VD6有压降，单片机的工作电压约为3V。

程序1 红外遥控程序主程序

```
void main(void)
{
    GPIO = 0;
     TRISIO=0x06;//GP1、GP2作输入端口,GP0作输出端口
    OPTION=0x03;//允许GPIO上拉，选择外部4MHz时钟，将预分频器分配给TIMER0，取16分频
    CMCON=0x07; //禁止使用比较器
    GIE=1; //全局中断使能
    T0IE=1; //T0溢出中断使能
    TMR0=0xdd; //定时器计数器赋初始值
    while(1)
    {
        if(GPIO1==0)//若按钮S3按下
        {
            pulse_send(0x4eec);//调用子程序，发送密码0x4eec，调节“分”位
        }
        if(GPIO2==0) //若按钮S2按下
        {
            pulse_send(0x8f3b); //调用子程序，发送密码0x8f3b，调节“时”位
        }
    }
}
```

程序设计

1. 红外遥控程序

红外遥控程序由主程序、定时器T0处理子程序和脉冲信号发送子程序等部分组成。

上一期文章中脉冲信号发送程序是主程序的一部分，这次因为程序中要多次调

表1

VD4（红色）	VD5（绿色）	数码管DS显示内容	显示持续时间
亮	熄	峰电量	2s
熄	亮	谷电量	2s
亮	亮	总电量	2s
熄	熄	时间	2s

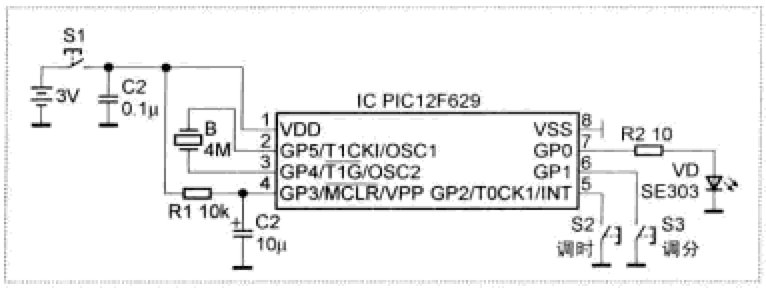


图1 遥控器电路

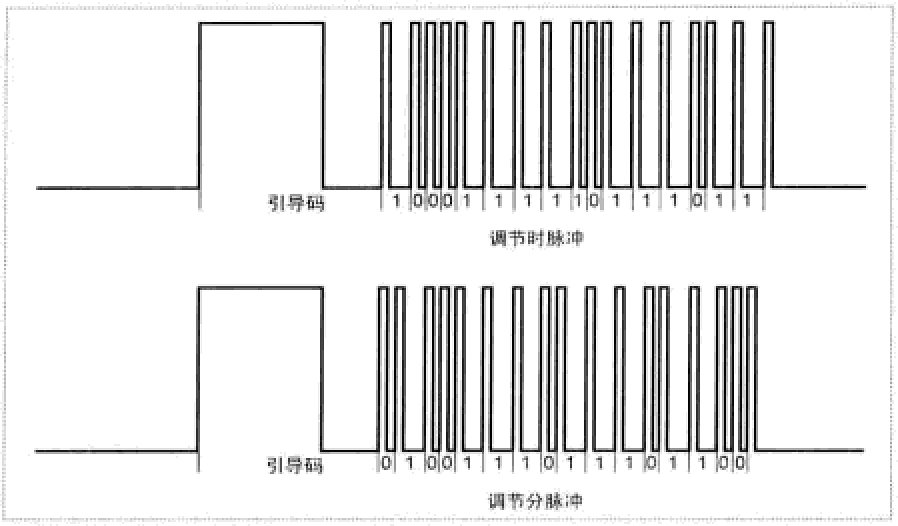


图2 “调时”和“调分”对应的红外脉冲信号

用，而且要发送不同的密码，所以单独编写为一个子程序来使用。

主程序分初始化和键盘扫描两部分，见程序1。

上述密码0x8f3b和0x4eec可自行设定，只要保持和电能表程序中设置的相应密码一致即可。

2. 复费率电能表程序

复费率电能表程序主要由主程序、定时器T0溢出中断处理子程序、定时器T1输入捕捉（红外接收）中断处理子程序、定时器T2溢出中断处理子程序、INT0外部中断处理子程序和显示子程序等部分组成。

大部分程序前几期的文章已经介绍，有些也只是作了一些改动，故这些部分就不介绍了，详细的源程序可以从《无线电》杂志网站下载，这里主要介绍一下用作时钟计时的定时器T2溢出中断处理子程序，见程序2。

单片机初始化时定时器T2的时钟源预分频系数取1024，计数器初始取0x06，计满250个数即产生溢出中断，这样定时时间为：0.125μs×1024×250=32000μs=32ms，中断1875次的时间正好是1分钟。

好多人认为用定时器计时做时钟精度不高，其实这是一个误区，精度不高的原因是使用不当，主要原因有两个：一是在时钟源没有使用预分频器的情况下，中断处理时没有对响应中断、现场保护和计数器重赋初始值所需的时间进行精确补偿，就AVR单片机而言这些工作通常需要10多个时钟周期来完成。以使用16位定时器、定时时间8ms（使用8MHz晶体，定时器时钟源不预分频时的最大定时时间为8.192ms）为例，不补偿的话1天时间将至少慢(0.125×10/8000)×3600×24=13.5(s)，这是因为计数器在计数器重新赋初始值时已少计了10多个数，下次溢出的时间也就推迟了，使2次中断产生的间隔比理论计算值长。如果时钟源使用分频系数为16以上的预分频器情况就不同了，因为在响应中断的过程中预分频器并没有停止计数，在中断处理程序对计数器重新赋初始值时预分频器还没有产生进位，所以没有丢失数据。这里T2时钟源采用1024预分频，自然不会因少计数而产生计时误差。在定时器时钟源不使用预分频器的情况下，建议大家将定时器设置为CTC工作模式，使用比较匹配中断，这样在产生比较匹配中断时定时器的计数器是立即自动清零的，不会造成计数丢失。

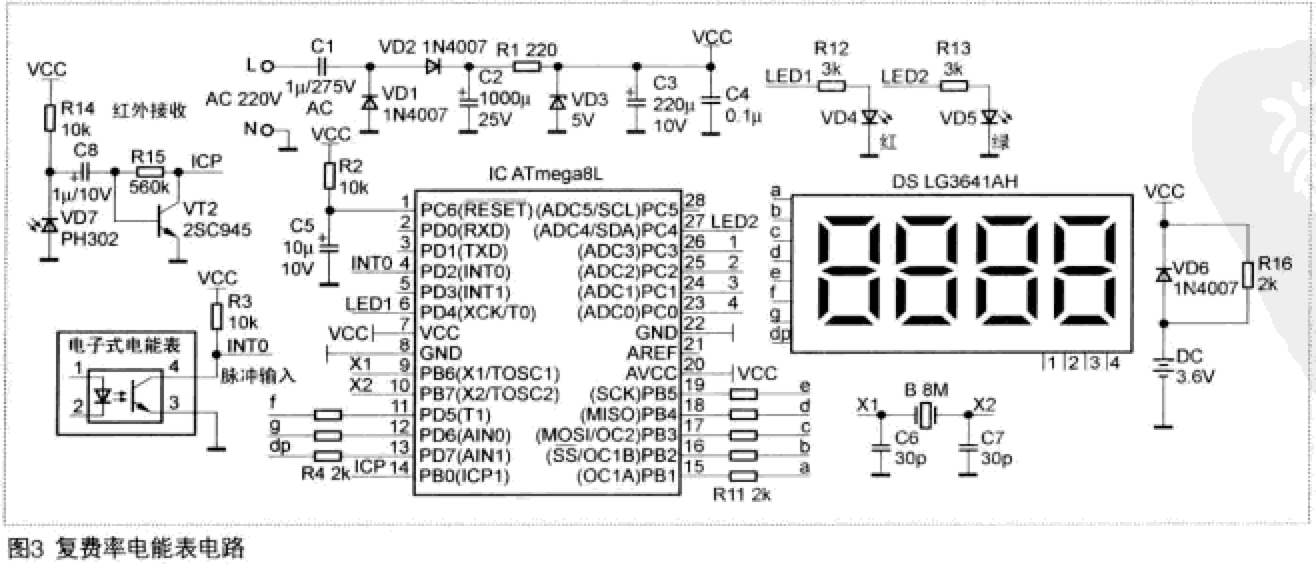


图3 复费率电能表电路

定时精度不高的第二个原因是中断程序使用不当，一是本身中断程序处理的时间大于定时时间，造成不能及时响应下一次中断；二是在其他中断程序处理过程中发了定时中断，又没有使用中断嵌套提高定时中断的级别（AVR单片机的硬件缺省方式不支持高优先级中断打断低优先级中断），

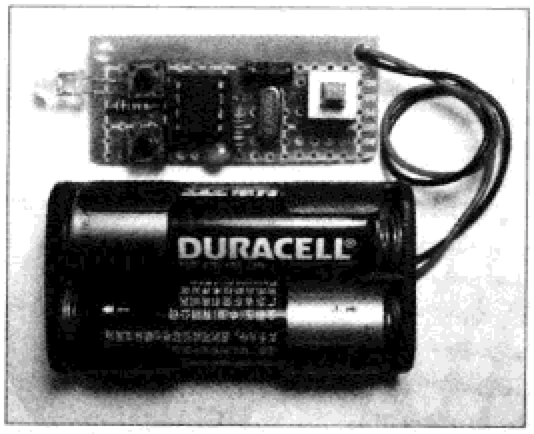


图4 安装好的电路板

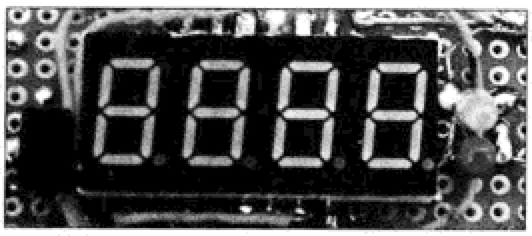


图5 增加了两个发光二极管

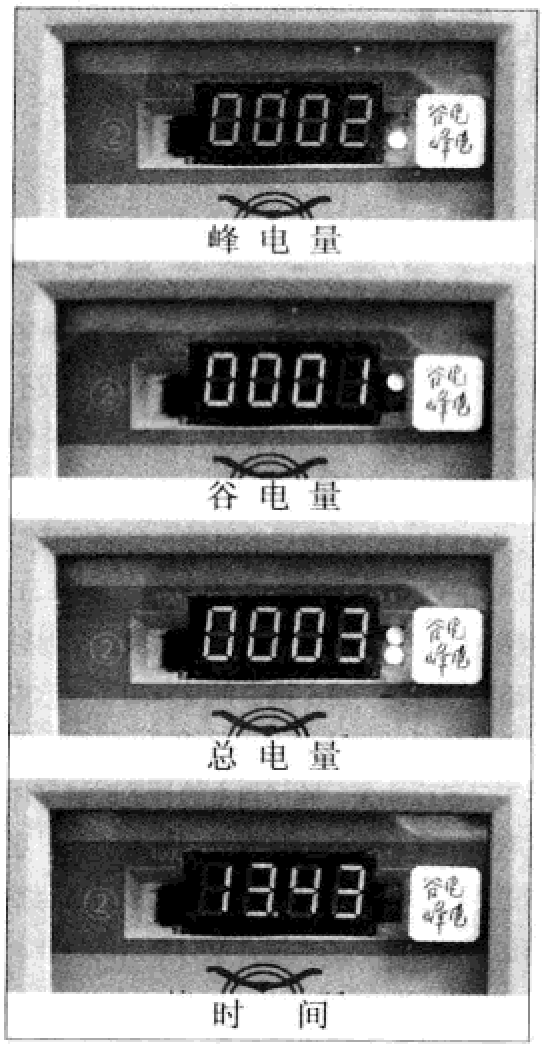


图6 实测数值

造成不能及时响应定时中断。出现以上两种情况自然会引起计时不准。本文介绍的程序除了定时器T2溢出中断处理子程序外还有3个中断子程序，其中INT0外部中断处理子程序每中断640次（即计满0.1kWh电量）就要写一次EEPROM，大家知道写EEPROM的过程是不能被中止的，否则会出现数据错误，所以我没有使用中断嵌套，但我仔细估算了其他3个中断子程序的处理时间，发现均小于1024个时钟周期，也就是说在它们处理完时，定时器T2的预分频器还没有产生进位，就是推迟了一会儿响应定时中断的时间也没有出现计数丢失，所以不会影响计时精度。

实践证明这个电能表的走时精度比我使用时钟芯片DS1302做的电子钟高（一般来说晶振频率越高精度越高，DS1302配的晶振频率只有32768Hz），每天走时误差小于1s。

程序中定义峰时时间为8:00～21:00，则谷时时间为21:00～8:00。如果要修改时间只要修改程序中的语句if(hour>8&&hour<21)即可。

程序2 定时器T2溢出中断处理子程序

```
void timer2_ovf_isr(void)
{
  TCNT2=0x06;
  clock++;
  if(clock==1875)//中断满1875次，分加1
    {
      minute++;
      clock=0;
    }
    if(minute==60)//计满60分，时加1
      {
      hour++;
      minute=0;
      }
  if(hour==24)
  hour=0;
}
```

制作与使用

红外遥控器只要在上一期电路板的基础上增加两只开关即可。安装好的电路板见图4。

对电能表电路板，先拆除串联在电能表火线的输出回路中继电器常开触点（电路板上的继电器及其驱动电路如果以后还想使用就不用拆除），恢复原有接线。发光二极管VD4和VD5一起装在数码管的右边，具体位置见图5。

备用电池用无绳电话中使用的3.6V充电电池，也可以使用旧手机的充电电池。

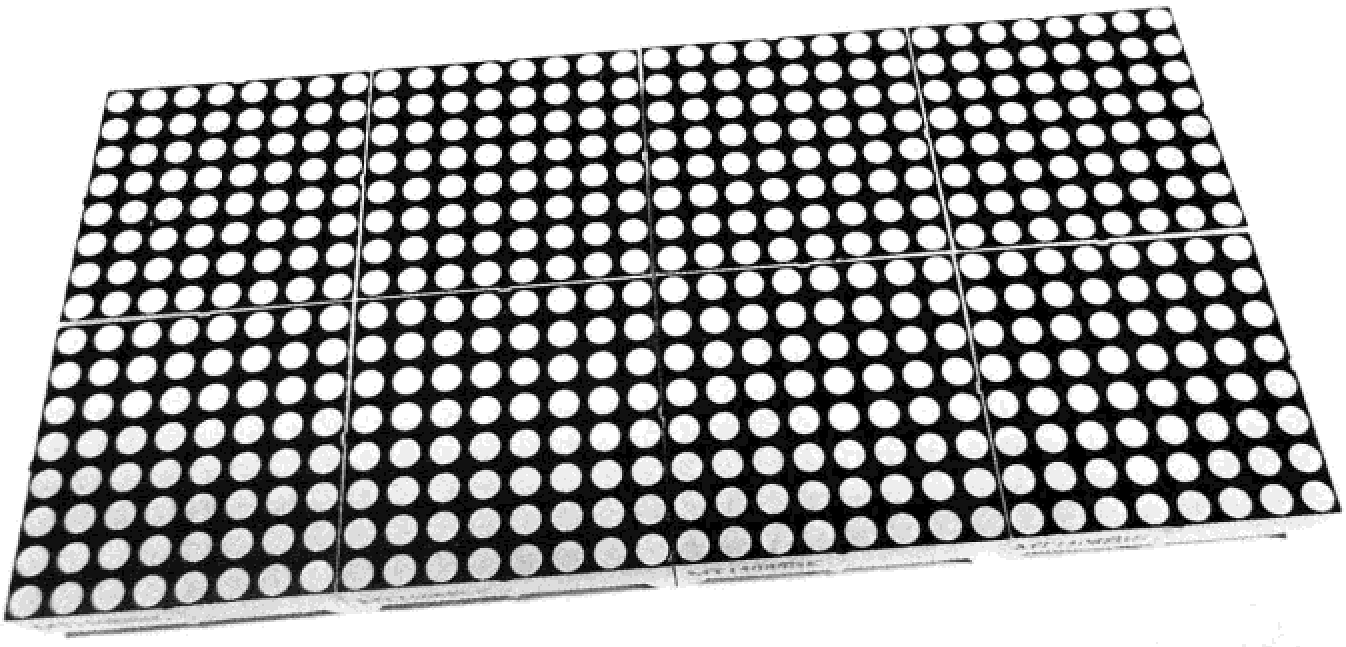
电能表接上电源后显示的初始时间是12:00，由于我使用的数码管中间没有“:”号，我就用中间的小数点代替，时间显示为“12.00”，读者制作时可以买一只专为电子钟配套的中间带“:”号的数码管使用。

调整时间时把红外遥控器对准电能表的红外接收窗口，按动S2调整“时”，按动S3调整“分”，短按一次对应的数字加1，长按则连续加。由于“调时”和“调分”都只设置了一只按键，调节时数字只能加，不能减，但调节器的数值是循环的，比如分加到59时会翻到1，因此按住按键不放，利用循环就能将时间调小。调节时间时数码管只显示时间，调节完成后两秒数码管恢复正常循环显示。

使用过程中如果发现一天的走时误差大于1s，说明晶振的振荡频率偏差较多，可通过改变接在8MHz晶振两边的电容C6和C7的容量进行微调，时间偏快时增加容量，反之减小容量，另外注意这两个电容要选用温度系数小的电容。

图6是复费率电能表接一台46英寸液晶电视机使用一个星期后的显示结果。

《玩转电能表 体验智能化》连载的4篇文章已经刊载完了，4篇文章的硬件电路都差不多，但是实现的功能却各不相同，这正是单片机的魅力所在。通过学习和制作，相信大家一定能在原有电路和程序的基础上设计、制作出更适合自己使用的装置，并能举一反三，有所创新。



◎杜洋

制作mini3216电子时钟

精简设计

有网友问我，为什么我的作品都是电子钟。这真是个好问题，我从来没有想过我为什么这么喜欢制作电子时钟，也许我是一个电子时钟爱好者，也许是水平不足做不了别的东西，或者是一些别的原因。但不管怎样，总是制作电子钟确实有些腻了。为了证明一下我不只是会做电子钟，于是我做出了一个非常艰难的决定，自mini3216之后，我不再设计并制作电子时钟了。Mini3216便成为我的时钟终结作品，把我最大的设计能力、最高的技术水平、最严格的美观要求都倾注其中，力求制作一款最高水准的电子时钟。

Mini1608时钟、FT4未来时钟都曾是我的旗舰作品，它们都有自己独特的精简与创新之处。Mini3216作为最后的时钟，自然把精简设计和创新技术做到了我的能力极限。Mini3216有一块32×16的LED点阵屏幕，所有元器件都采用PCB表面贴装，并把它们都放在LED屏幕和PCB之间，外观上看不到任何芯片和电阻，在保证了整体美观的同时，又让整体厚度做到只有LED屏模块加PCB那么薄。从时钟性能上看，mini3216没有采用单片机制作常用的DS1302时钟芯片，因为DS1302芯片需要外接晶振，时钟精度不高。而是采用了一款内置晶振的时钟芯片，精准程度可以达到走时1年的误差在1分钟以内。用户操作方面，没有采用普通的微动开关作为设置按键，而是改用我之前研发的电容式触摸按键，保证轻薄美观，又带来时钟操作的新体验。时钟显示方面我也下了不少功夫，除了自主设计的时钟字体外，流动显示信息的方式也让我耗了不少精力。正常状态下，时间和温度信息交替显示，每30秒钟显示一次日期信息（包括月、日、星期、节日）。所有信息的切换都是流动动画方式的，不会给你“突然”的感觉。触摸菜单按键进入时钟设置界面，时钟设置的方法也独有新意，所有设置内容都是流动显示设置的，操作简单，一看就会。时钟的操作和外观一样简洁，没有花哨的功能，没有繁杂的操作。Mini3216电子时钟带给你更多的是实用和品位。

LED屏驱动方面更是mini3216的一大突破之处。传统的51单片机驱动32×16阵列的LED屏幕时都需要使用行驱动（或列驱动）芯片。32个I/O接口直接驱动点阵屏的像素极限是16×16，而mini3216电子时钟却可以让32个I/O接口直接驱动32×16的点阵LED屏幕成为可能（如图1所示）。这是mini3216最大的技术亮点，后面的文章里我将向大家介绍这一魔术般的驱动方式是如何实现的。现在先让我们保留这份对创新事物的热情与好奇心，进入到mini3216的制作流程。通过丰富、直观的制作图解，轻松完成这一超酷炫的电子时钟吧(Mini3216显示效果视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjE3MjYxMDc2.html)。

功能介绍：

- 超薄设计，整机厚度只有一片PCB加上LED屏的厚度（如图2所示）
- 单片机直接驱动所有LED屏，电路DIY制作简单，无需驱动芯片
- 公历及农历的重要节日提醒功能
- 4键全电容触摸式按键
- 32×16LED点阵屏显示，全中文界面
- DYS8100高精准时钟芯片，一年内误差小于1分钟
- 早8点到晚8点整点报时功能
- 流动、渐变亮度式显示切换，精致UI设计
- 亮黑色镀金电路板，长久使用不褪色（如图3所示）
- 超薄多功能连接排线，如无线般美观

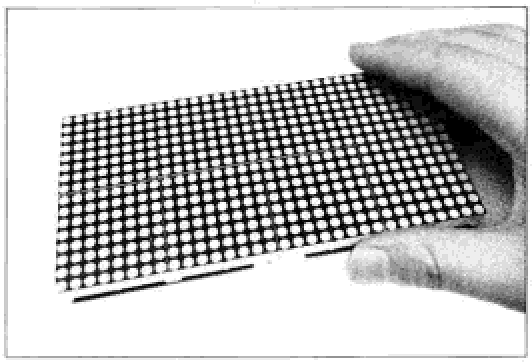


图1 单片机直接驱动32×16阵列的LED屏幕，电路DIY制作简单，无需驱动芯片

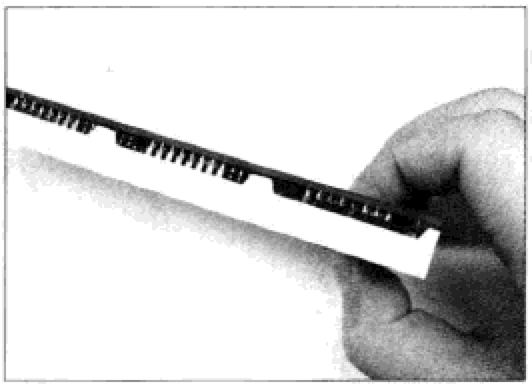


图2 整机厚度只有一片PCB加上LED屏的厚度

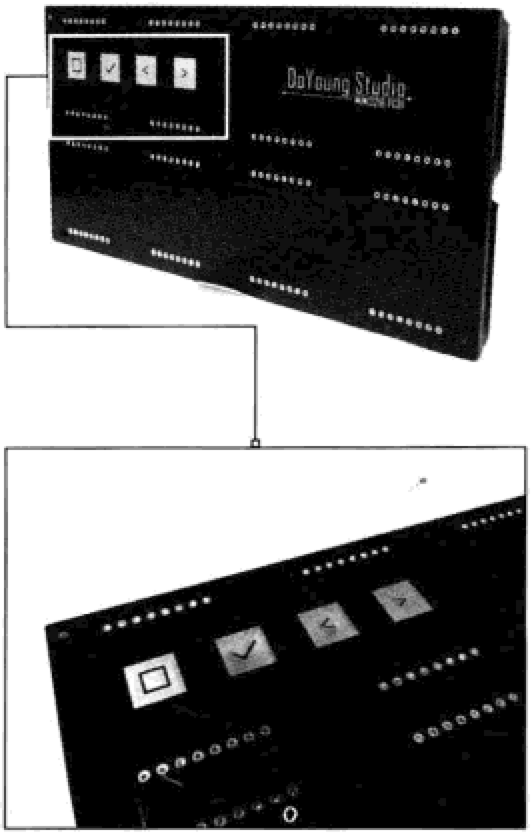
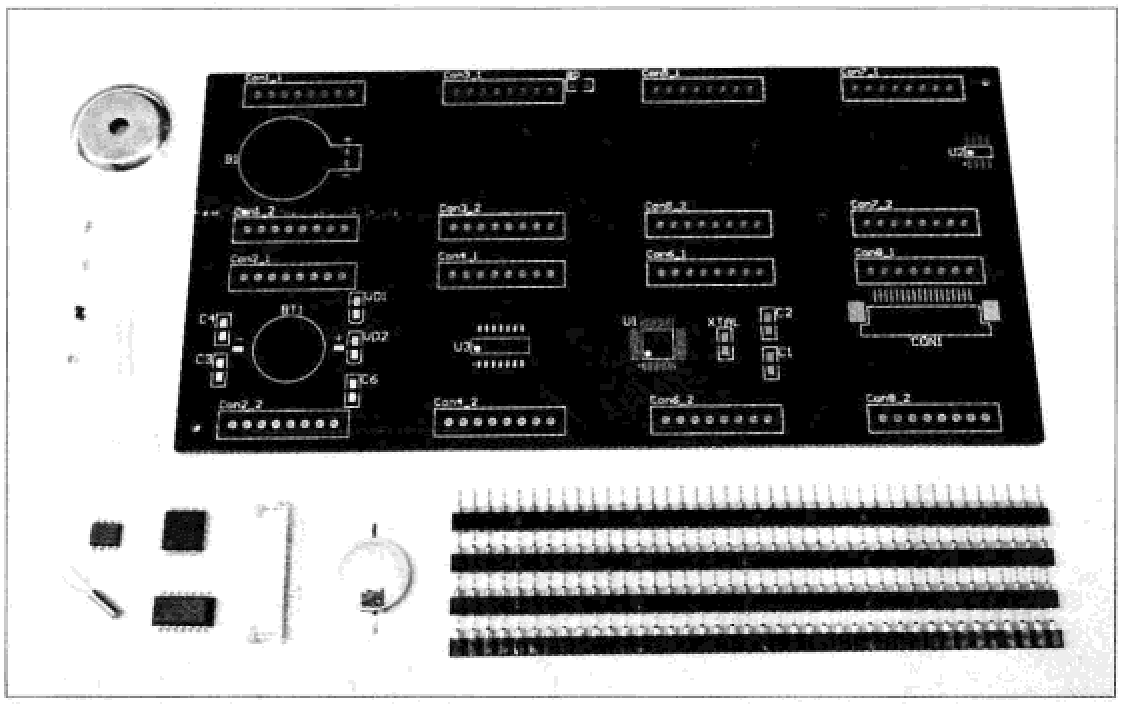


图3 亮黑色镀金电路板，长久使用不褪色，4键全电容触摸式按键

制作过程

因为mini3216全部采用的是贴片元器件，所以制作时需要各位大侠有一定的焊接水平，至少有过焊接贴片元器件的经验。当然你也可以在没有经验的情况下焊接，但是拿这么精致的套件来练手，好像有点可惜哦。我为了追求工艺上的完美，在制作细节上也下了功夫，下面的制作过程是很规范的细节，不按规范制作，可能会影响美观。



制作所需元器件

元器件列表

品名	数量	备注
单片机	1片	
时钟芯片	1片	
温度芯片	1片	
钮扣电池	1个	3V非充电电池
30pF电容	2个	
0.1μF电容	2个	
1μF电容	1个	
二极管1N4148	2个	
12MHz柱式晶振	1个	
军品排孔	4条	每条40PIN
压电陶瓷片	1片	
导线	2条	
排线座	1个	18PIN座
软排线	1条（1m长）	每排18PIN
miniUSB-USB连接线	1条（1.5m长）	
USB电源充电器	1个	或其他5V电源

第1步 焊接单片机

Mini3216 选用的单片机型号是 STC 公司的 12C5A60S2，封装是 LQFP48，这是目前 STC 单片机中体积最小、I/O 接口最多的单片机之一，正是用了它才达到了 mini3216 的诸多功能。LQFP48 封装只有小指甲盖大小，焊接起来并不容易，除了有实足耐心之外，焊接的方法也很重要，如图 4 所示。大家可以在网上搜索“LQFP48 的焊接方法”，将可以得到如何焊接此封装的教学视频。

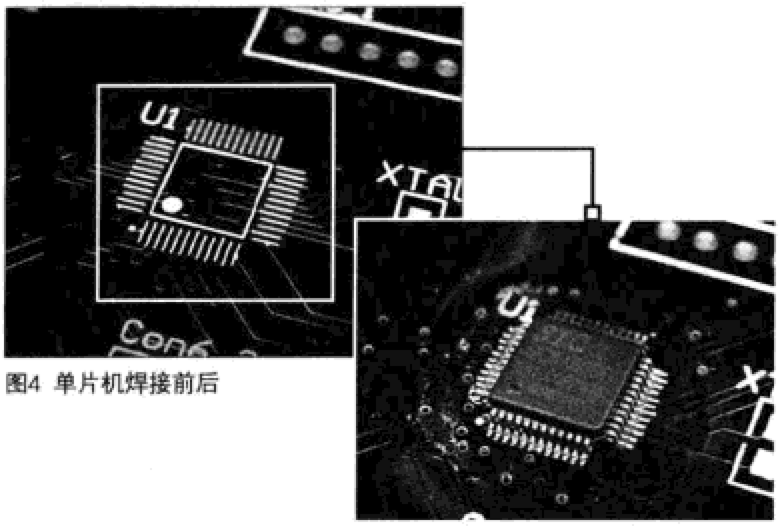


图4 单片机焊接前后

第2步 焊盘挂锡

单片机焊好后，余下的元器件就好焊的多了。为了更方便的焊接，我们先把所有要焊的元器件焊盘中的其中一个焊盘加锡。这样做的好处是当我们焊接元器件时，只要左手把元器件放好，右手拿烙铁把焊盘上的锡熔化，之后这个元器件就被固定住了，然后再来调整位置或者焊接其他焊盘时就容易许多了，如图5所示。当然，如果你有更好的方法，可以不用我的方法。青菜、胡萝卜各有所爱，谁让今年是兔年呢。

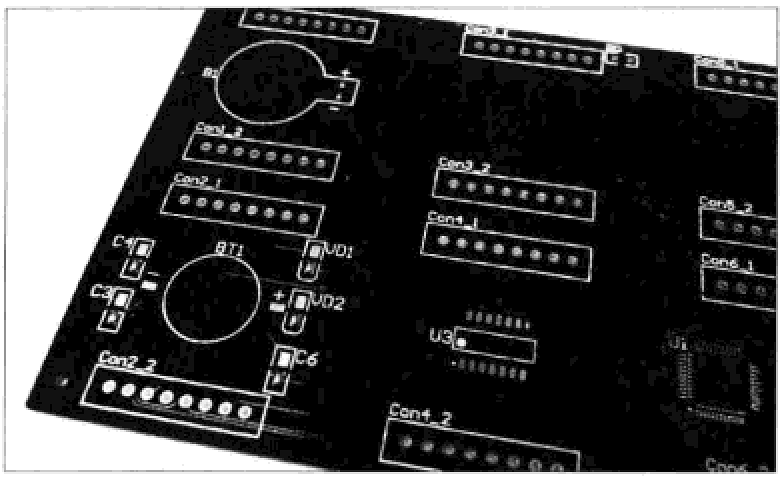


图5 在元器件焊盘中的其中一个焊盘加锡

第3步 插接液晶片

使用军用级排孔是为了方便取下LED屏模块，因为mini3216的所有元器件都是藏在LED屏模块与PCB之间，那么一但电路出现问题，我们就可以取下LED屏模块来修理了。我们只要把军品排孔焊在PCB上，LED屏模块插接在排孔中就行了。注意哦，我们购买的军品排孔每排是40PIN的，需要把它拆成8PIN的（图6），然后把排孔针脚最细的部分剪掉2/3，目的是为了让针脚不从PCB的背面穿出来，以防影响美观。随后把所有排孔放到PCB上，先只把每一段排孔的其中一个针脚加锡焊接，其他针脚暂时不管（图7）。等所有排孔都焊好之后，再仔细、认真地边用烙铁熔化锡边调整一下排孔的位置，一定要保证与PCB的平面垂直。调整完成后再把各段排孔的其他针脚焊接好。这一步的工作非常关键，如果排孔没有和PCB垂直，制作到最后就会发现LED屏模块不能插入到排孔里，到那时再想调整就困难了。

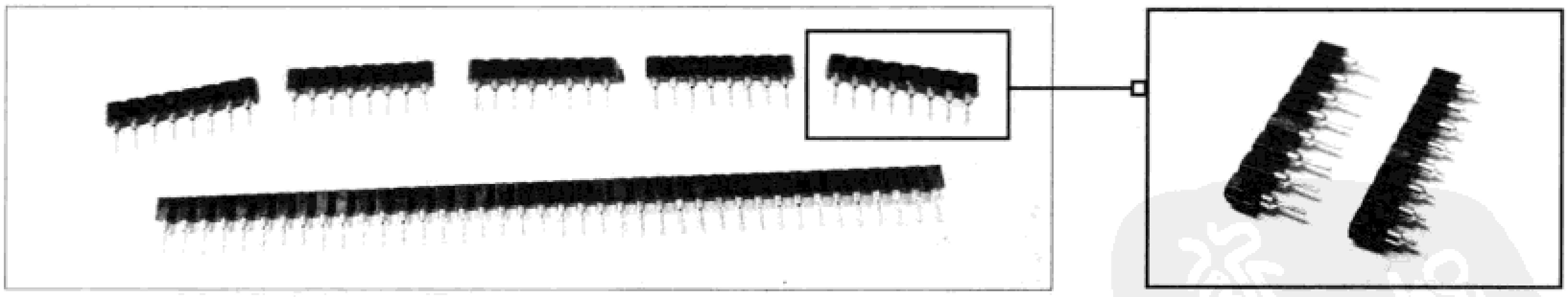


图6 把排孔拆成5段并剪短针脚

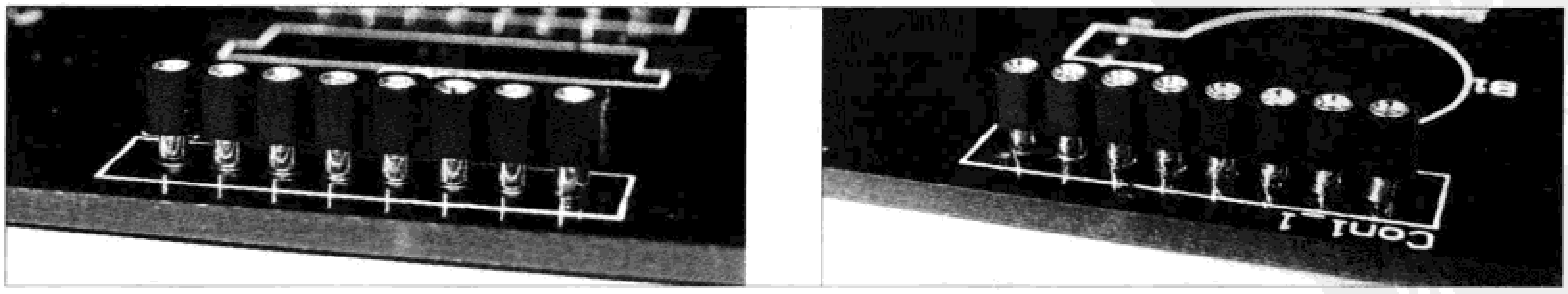


图7 把排孔竖直焊接在PCB上

第4步 焊接时钟电路

时钟芯片和备用电池电路的焊接并不难，方法与焊接单片机的方法大同小异。只要注意焊接二极管时，二极管上有黑边的一侧表示的是负极（图8）。

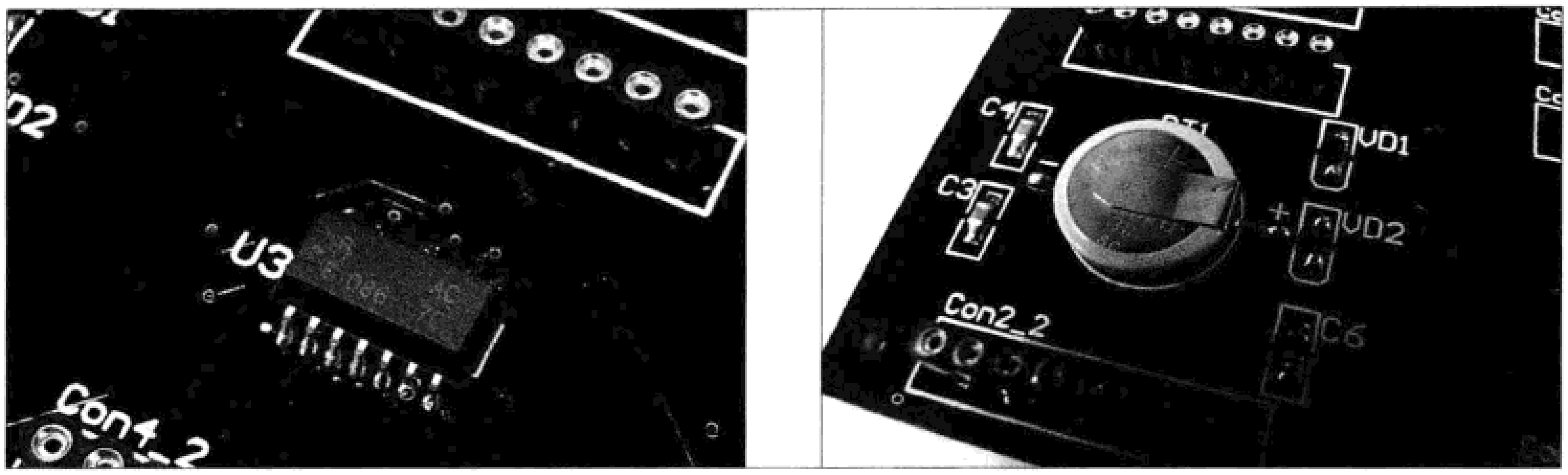
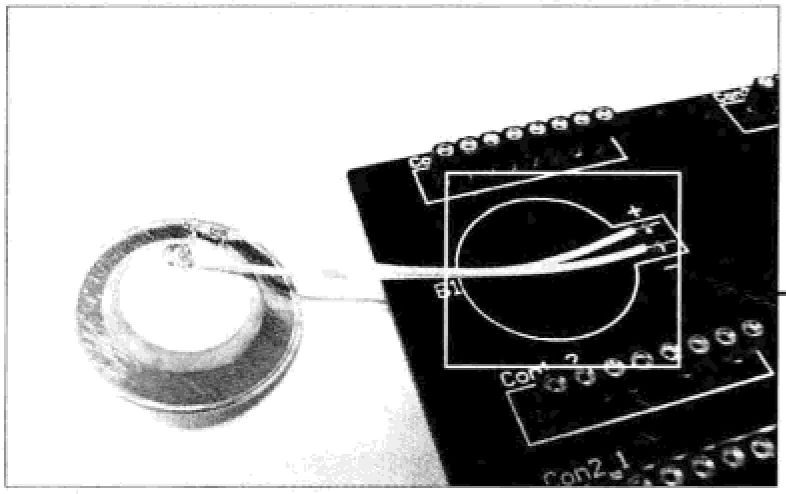


图8 焊接时钟芯片和备用电池电路

第5步 焊接扬声器



Mini3216使用的是压电陶瓷片作为发出提示音的扬声器，焊接起来很简单。先把两条导线焊接在压电陶瓷片的两个极片上（不分正负极），然后再把导线另一端焊接在扬声器的接口上。用双面胶体把压电陶瓷片粘在PCB上面（图9）。

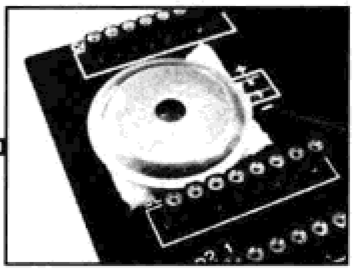
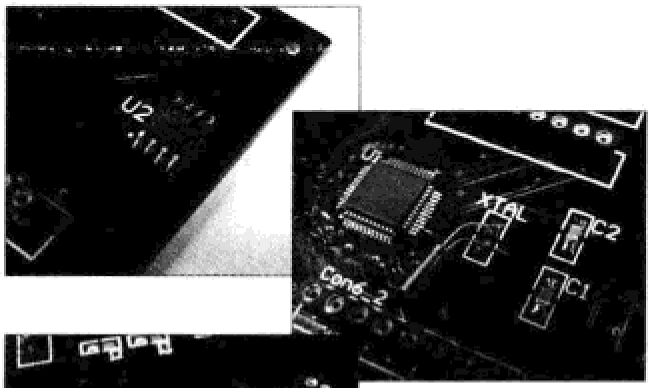


图9 焊接扬声器并粘在PCB上

第6步 焊接其他电路



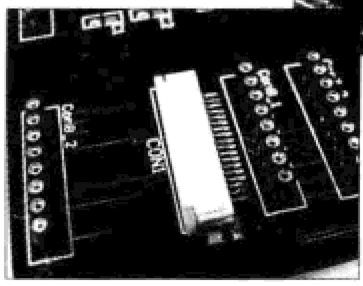


图10 焊接温度传感器芯片、单片机时钟电路和数据线接口

这一步是焊接温度传感器芯片、单片机时钟电路和数据线接口。焊接时注意12MHz的晶体外壳尽量远离其他暴露的引脚部分（图10）。所有元器件焊接完成的PCB，如图11所示。

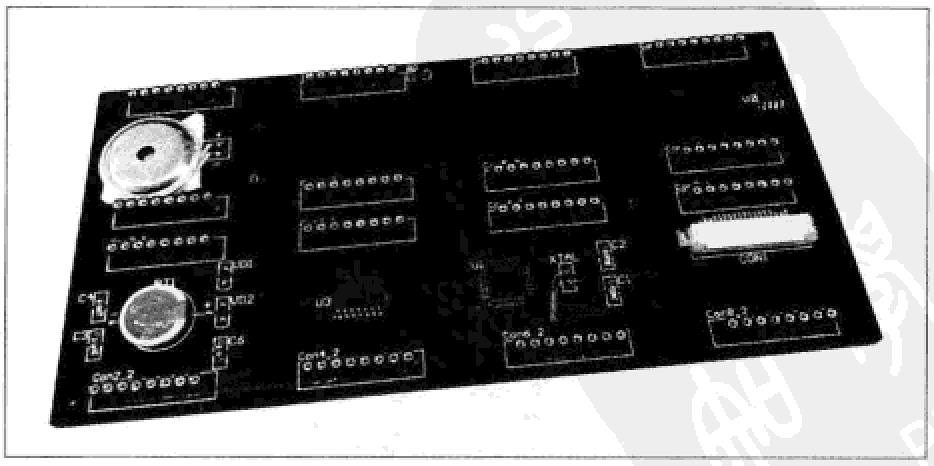


图11 PCB上所有元器件焊接完成

第7步 插接电源线

Mini3216的电源线可不是普通的线哦，它是如纸般轻柔的软排线。软排线内包括18根导线，我在里面预留了系统电源、ISP下载、I^2C总线、2路扩展I/O接口等。有了这条软排线，以后无论是扩展还是升级程序都不需要拆下LED屏，因为这些工作都能“在线”完成。使用软排线的另外一个目的是为了美观，软排线的一面是纯白的，当我们把mini3216挂在墙上时，软排线的颜色与白墙相同，远处看去好像无线供电一样。按图上的指示把线折好，从PCB的下方中间处引出来（图12）。你也可以按照自己的喜好从各个侧面引出排线，以适应你的实际摆放需要。软排线是很有韧性的，不用担心会把它折断，除非你非常地用力。排线的另一端需要和普通的USB线连接，这样一来配合USB充电器电源就可以给mini3216供电了（图13）。排线连接处的电源正负极区分有些困难，除了照图上的样子区分外，还可以请万用表帮忙。

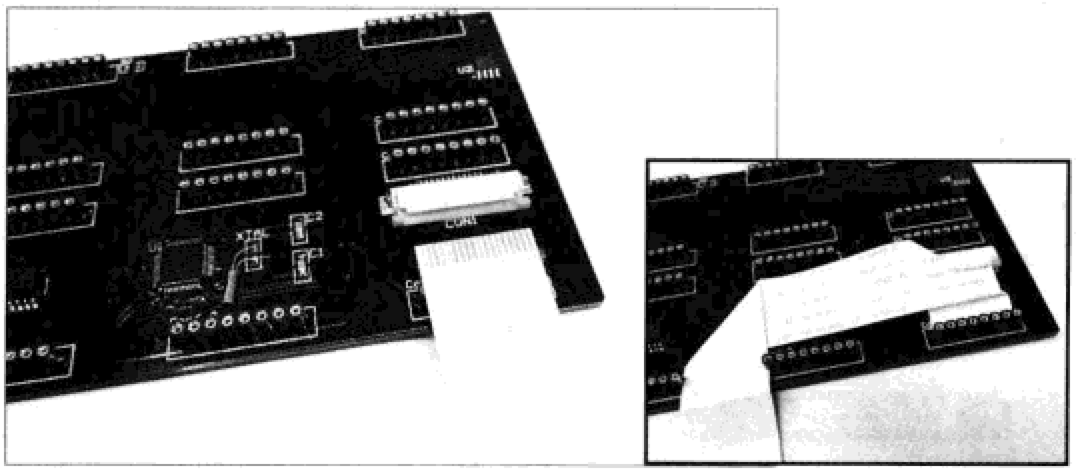


图12 折叠排线并引出

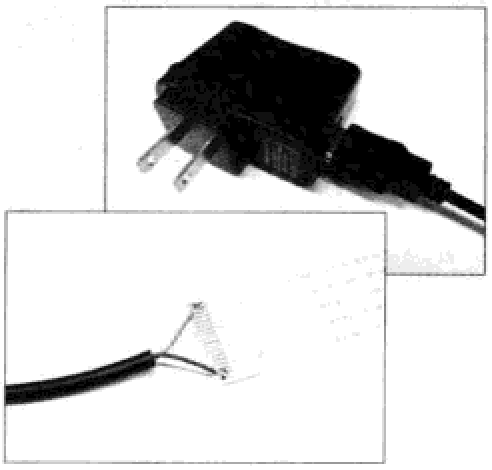


图13 焊接电源线的连接处

第8步 插接点阵屏

最后一步是把LED点阵屏模块插到排孔里，不过LED屏模块出厂时的引脚较长，插到排孔时会高出一段距离，很难看。所以我们先把LED屏模块所有的引脚的长度剪掉一半，然后再插入排孔，就是正好的距离了。具体情况在你制作时酌情处理（图14）。

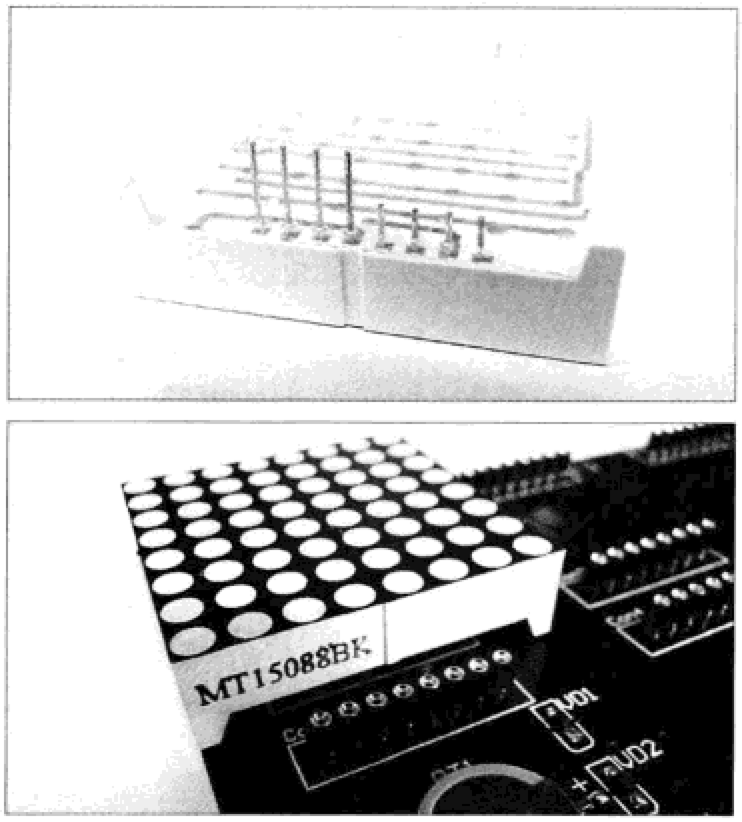


图14 插接LED屏模块

Mini3216做好了（如题图所示），我们看不到一堆杂乱的飞线，看不到有任何元器件的身影，花了半天功夫，看到的只有LED屏模块和PCB的背面，看似无物之中却隐藏着强大的性能。让mini3216在没有外壳的情况下也能保证其简洁、美观。有朋友说，mini3216的硬件不仅可以做时钟，它还可以当作通用显示器来使用。就好像苹果手机一样，提供一个简洁而高性能的硬件平台，可以加载第三方软件，使之更有新意。它虽然目前还只有时钟的功能，但它的扩展余地广大，在这款高性能的硬件平台上，正期待着你的天才创想。目前当它还是时钟的时候，我们大可以把它制作出来送给爱人或朋友，向别人证明手工制作的单片机作品也可以成为不俗的生活实用品。

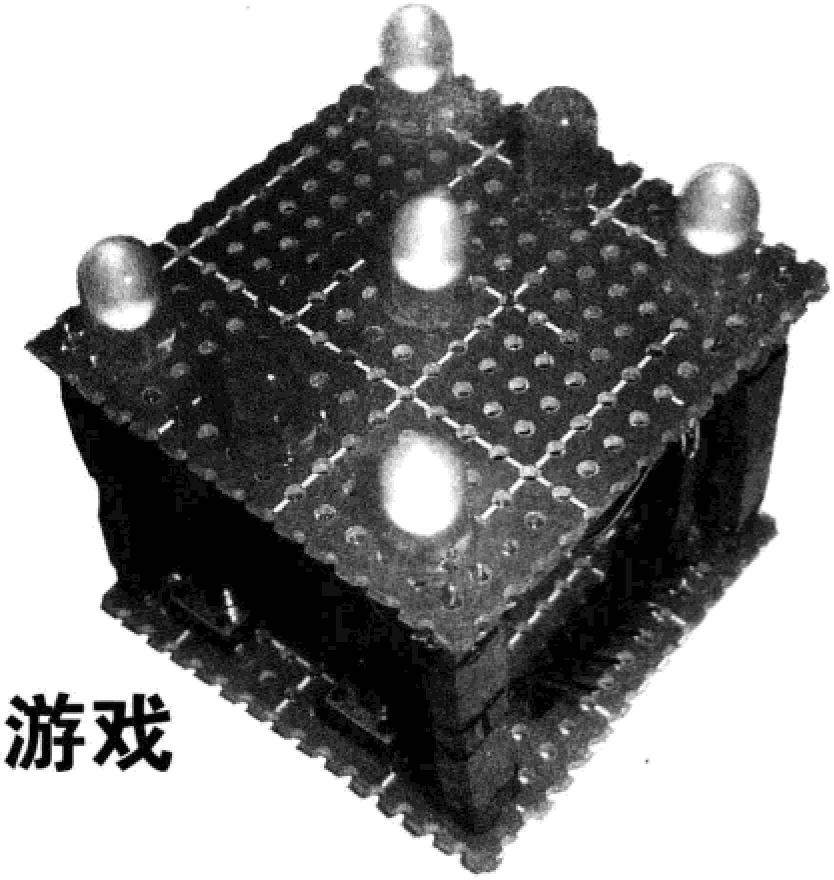
Mini3216所涉及的创新技术真是不少，如果一一介绍的话，需要好长的文章，限于杂志的篇幅，我只要找一些重要的创新技术来做点简单的介绍。之前我也写过文章，介绍过STC单片机和电容式触摸按键的原理及制作。Mini3216正是用到了STC单片机和电容式触摸按键技术，有兴趣的朋友可以在往期的《无线电》杂志上找到我的这些文章。那么，如何仅用32个I/O接口来驱动32×16这个点阵屏？我又是如何完成多个信息流畅的移动显示呢？在以后的《无线电》杂志里，我将把这些秘密一一揭晓。

套件销售

mini 3216 时钟套件，价格：198 元／套＋15 元快递费（若需制作好的成品，另加 20 元工费，请一定注明联系电话）。购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/



◎伍浩荣

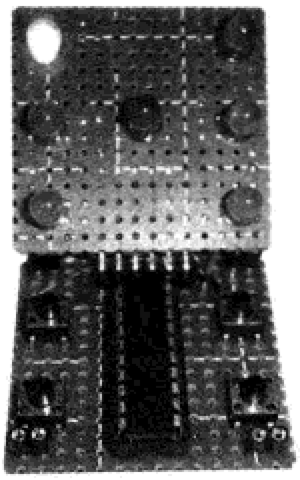
能“变形”的两用游戏机
——摇摇骰子和打地鼠游戏

看这题图，你可能会觉得毫无新意，没有什么特别的东西。其实这是一个游戏机，可以用来玩两个游戏，一个是摇摇骰子，另一个是打地鼠。且看下面详解：

题图所示的是摇摇骰子游戏，顾名思义就是只要摇动它，上面的LED就可以随机产生不同的点数1~6点，和实际的骰子一样也是要摇动，但是把它制作成了电子骰子就别有一番滋味了。

右图所示是打地鼠游戏，把摇摇骰子上下两个部分拆下来重新组装就可以形成类似我们小时候玩的游戏机了，什么？变形金刚？留意到下面的4个按键没有？上面部分的4个角的LED会随机有一个亮起来，你需要做的就是在它熄灭之前按下相应的按键，而且这个游戏还有不同关数，后面的显示会越来越快，你要绷紧神经来随时应付这突如其来的滥炸！哈哈~~有趣吧？

开心之余，让我们来看看制作过程和原理介绍。

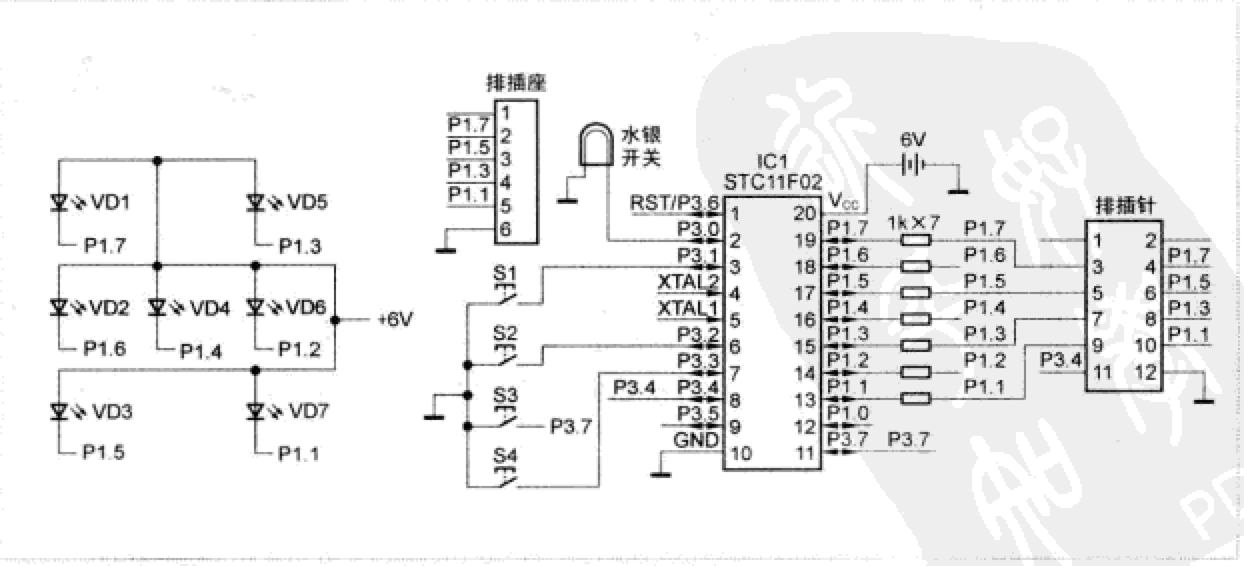


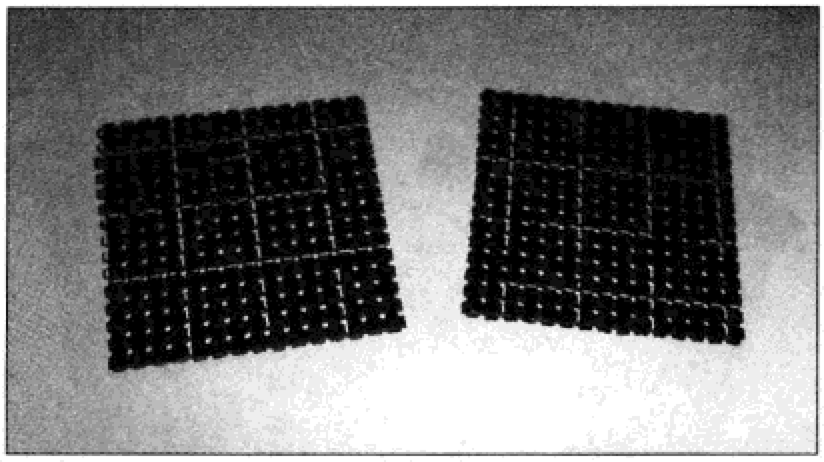
打地鼠游戏

电路原理

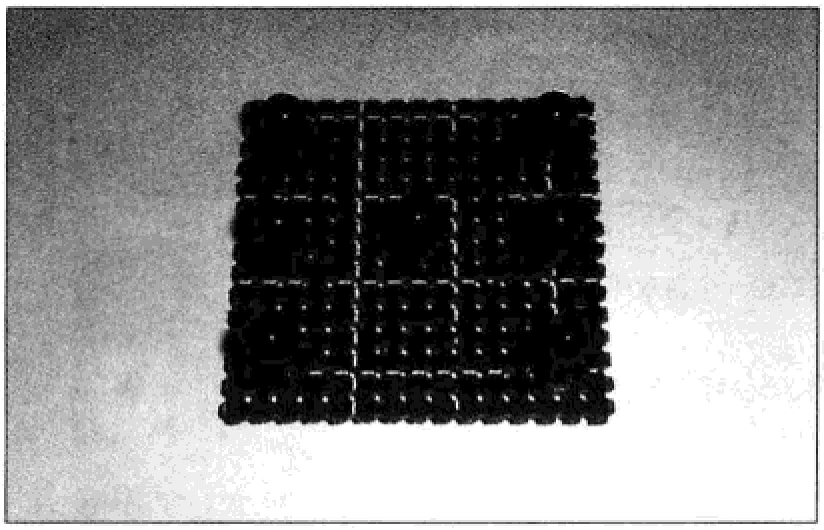
所需零件列表：

- 20脚STC11F02单片机1个（可以换其他STC的20脚单片机）
- 20脚芯片插座
- 红色LED7个
- 1kΩ贴片电阻7个
- 水银开关1个
- 小型的微动开关4个
- 7cm×9cm的洞洞板1块（用于裁板，有其他合适也可以）
- 圆孔插座若干
- 排针若干
- 3V纽扣电池2只
- 热熔胶若干
- 漆包线若干
- 排线若干
- 绝缘胶布

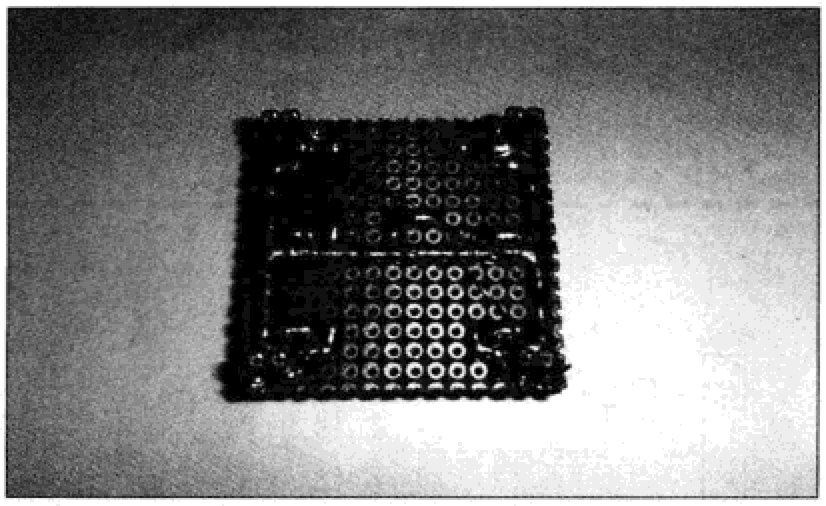




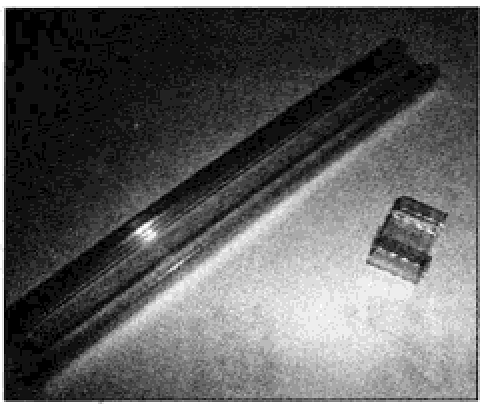
01 把7cm×9cm的洞洞板用裁刀裁出如图所示的大约4cm×4cm的正方形两块，大小合适即可，不要过大，以恰好能放置7个LED为好。



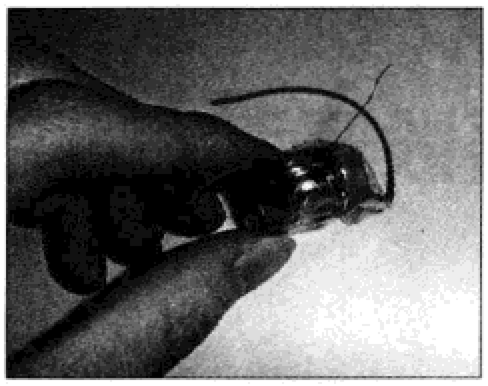
02 在其中的一块正方形板子上按如图所示摆放好7个LED，在背面焊接固定好并剪去引脚。



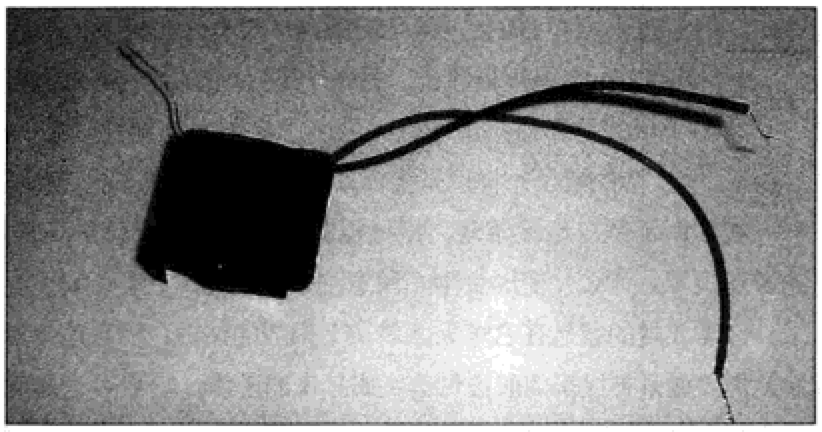
03 如图所示在背面用焊锡连接好LED的正极，并且在负极位置焊接好贴片电阻，即图中中间黑色部分，贴片电阻大小刚好能摆放在两块洞洞板的焊盘上，焊接时先固定焊接好一端，再焊接另一端。并且在4个角部分焊接上4个两针的圆孔插座，然后用漆包线把贴片电阻的负极端连接到7个圆孔的插座底部，用以进行上下两块板子的电流导通，留下的一个圆孔用来连接水银开关。为了防止漆包线磨损导致的短路，还需要在和焊锡接触的地方用绝缘胶布隔离一下。



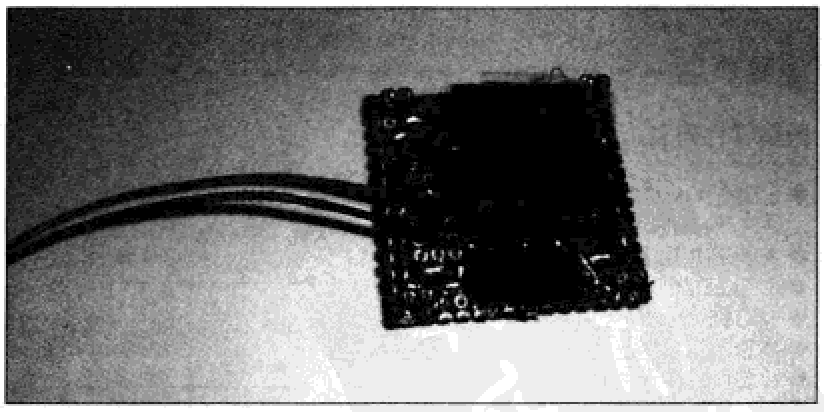
04 用来固定电池的部分，本人发挥了废物利用的本领，用装40脚单片机的塑料壳裁出合适部分来完成，大小刚刚能装入两颗纽扣电池，能节省下来就用着吧，当然，你还可以想出其他的办法来设计这一部分。



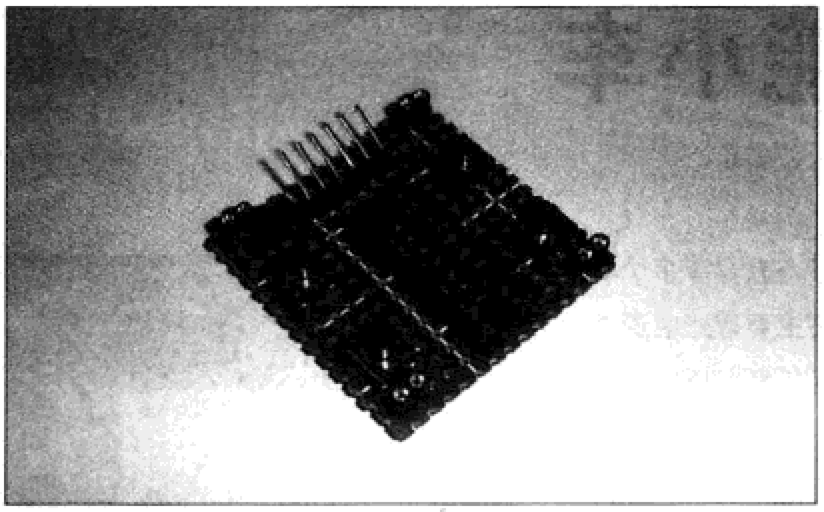
05 装入纽扣电池后用红黑两条排线引出电源的正负极，并且把水银开关的一端接在纽扣电池的负极上，引出水银开关的另一管脚，然后用胶布包好固定好。



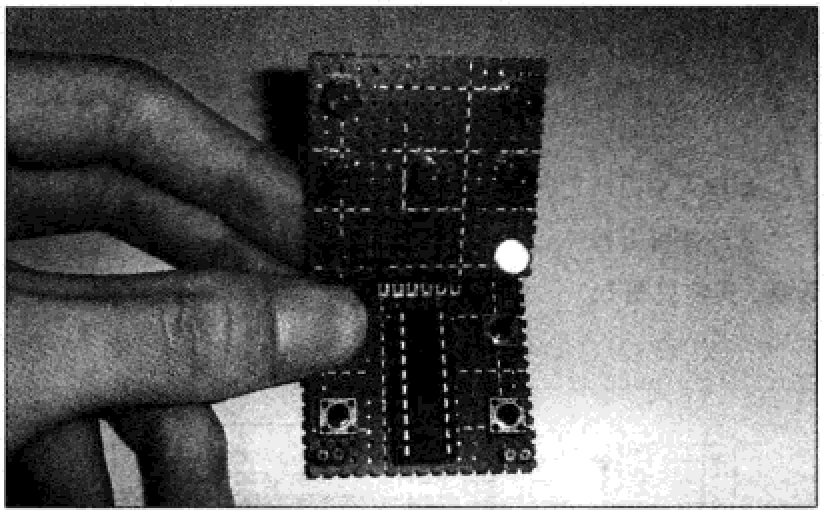
06 用黑色胶布包好，保护好水银开关，引出所需的线。



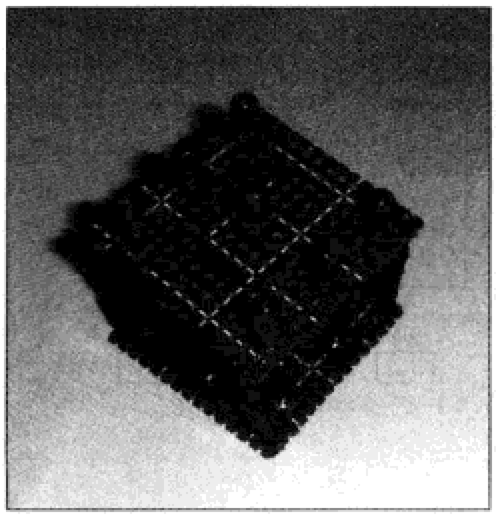
07 将若干排插座用热熔胶固定在之前板子的下端，注意排插座一端的插孔要朝外放置，然后再用漆包线把4个角对应的LED负极端连接在排插座另一端的中间4个引脚上，这是为第二个游戏所需的4个LED而备的，并且把负极接在排插座的其中一端上，这是为切换第二个游戏而准备的。然后把电池部分用热熔胶固定在上面，完成后就如图所示。注意水银开关要倒立摆放，正面摆放的时候水银开关处于不接触状态。



08 用另外的一块正方形洞洞板按图所示在相应的位置上焊接好4个按键、芯片插座和在4个角对应焊接4个两针的圆孔插座。按照原理图把圆孔的底部连接在相应的单片机P1组位置上。然后在一端焊接上若干个倾斜120°的排针，这是用来“变形”为第二个游戏用的，当把这部分插入在之前部分的排插座中时就可以启动打地鼠游戏了。完成后就如图所示。注意还要在背面用漆包线把P1组口的高4位部分（即P1.4～P1.7口）按顺序连接在排针的相应部分，这是用来控制打地鼠游戏的LED。还要把一针连接在P3.4口。装上下载好程序的单片机就可以宣布完工了。



09 如图所示把两部分插上就可以触发打地鼠游戏了，看相应的4个LED哪一个亮就按下相应的按键吧！玩多了还可以提高反应力呢。



10 当然，当你玩腻了打地鼠游戏的时候，还可以把上下部分如图所示用排针叠高起来，变形为一个立方体，嘿嘿~~不断摇动它，就会随机产生不同的点数！怎样？有趣吧？

程序部分说明：

读者们可能会疑惑，究竟是什么原因使它摇动起来就可以显示不同的点数呢？答案是之前的水银开关。我们知道一般的按键处理都需要经过消抖程序处理，否则一按下按键就会晃动好多次，也就是说单片机识别不了你按下了多少次按键，摇摇骰子就是使用了不消抖这个原理来产生不同的随机数。先建立一个装6个数据的数组，也就是用来显示1～6点形状时相应的单片机I/O值，然后编程的时候直接判断连接水银开关的I/O口是否变成低电平（也就是P3.4=0），如果为低电平就使代表数组的组值加1，因为组值有0～5这6个数据，所以加的数值不能超过5，因此要进行取余处理，这部分的程序比较简单，主要部分如下：

```
if(key==0)//判断水银开关是否接触，让其不断相加产生随机数
  {
      n++;//接触一下，加一次
      n=n%6;//进行取余处理，使数值限制在5内
      P1=table[n];//显示出数组代表的点数
  }
```

这样，当不断摇动骰子的时候，水银开关会不断地接触导通，然后不断地相加，这样就可以显示出随机不同的点数了。

这是摇摇骰子产生随机数的原理，但是打地鼠游戏是如何产生随机数呢？这是使用了C语言中的rand()函数，rand()函数会产生一系列的随机数，我们要做的就是使其限制在4以内。

例如：num=(char)(rand()%10) 就可以产生10以内的随机数。注意在调用rand()函数时我们还要在程序开头加上一个包含rand()函数的头文件，包含rand()函数的头文件为：#include<stdlib.h>。然后再取余使数值限制在4以内，最后显示在控制4个LED的数组上。还有的就是启动一个定时器用来判断按键是否在规定的时间内按下，然后还要扫描出所显示的LED值是否等于相应按键的键值，再记录下按中的次数。当按中的次数达到规定的次数时就改变定时器的值使4个LED加快显示，这就可以形成不同的难度了，而且游戏运行得越快越好玩呢，到时候可不要上瘾哦。还要注意的是单片机使用的是内部震荡，下载时需要选“外部震荡”。

以上就是这个会“变形”的游戏机的制作和原理，在看腻了单片机的一般制作后，相信这个多用的、有趣的单片机游戏制作会使你产生强烈的兴趣，那就赶快来动手制作这个耳目一新的作品吧！相关程序到《无线电》网站上下载。

自制模块化循迹智能小车

◎蒋瑞挺

循迹智能小车是目前研究的热点，它集合了机械、电子与软件等多个学科，因此对于制作者的技术要求较高。目前流行的循迹方案主要有光电管循迹和摄像头循迹，小车转向控制方式主要有两轮速度差方向控制和舵机方向控制。为使制作难度最小，本文介绍的小车采用红外光电对管（以下简称光电对管）进行轨道检测，通过改变前轮的速度差进行方向控制。

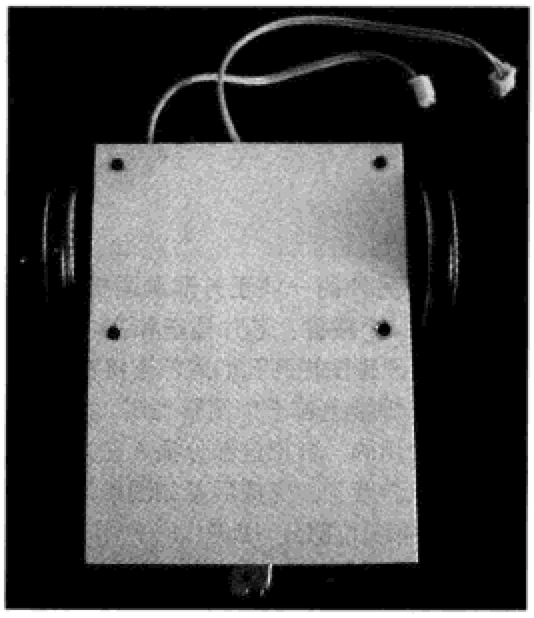


图1 小车车身

小车车身与车轮使用铝合金制作，车轮上套有塑胶圈以增加摩擦力。小车采用三轮结构，前两轮由两个小功率直流电机驱动，后轮由一个万向轮作随动，车身实物见图1。

硬件结构和原理

小车的控制电路按照功能划分成若干个小板进行设计，彼此之间通过杜邦线进行连接。小车与 PC 通过蓝牙串口进行数据通信。各个小板间的系统结构见图 2。

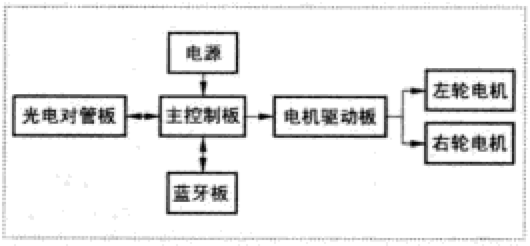


图2 总体电路结构

1. 主控制板

实现主控单片机ATmega16的最小系统，同时将控制引脚与JTAG调试口引出。外接电源的DC-DC转换也在该板实现。单片机的PB0~PB4用于光电对管发射端的发光控制，PA0~PA4用于采集光电对管的输出电压，PD0~PD1用于连接蓝牙板进行串口通信，PD3~PD6用于进行左右轮速度及转动方向的控制，PC2~PC5用于JTAG调试。主控板原理见图3。

2. 光电对管板

光电对管采用RPR220，板上引出光电对管发送端的发光控制管脚以及接收端的输出电压管脚。在布板时，对管以12mm间距均匀分布。光电对管板原理见图4。

3. 电机驱动板

电机驱动选用成品模块实现，见图5。该模块采用驱动芯片L293D，可以实现直流电机PWM与正反转控制。使用时，需要接入驱动板工作电压、电机工作电压、速度控制I/O以及方向控制I/O。

4. 蓝牙板

同样采用成品模块，只需接入串口线及电源即可工作，与 PC 的蓝牙连接过程同蓝牙手机等普通蓝牙设备，实物见图 6。

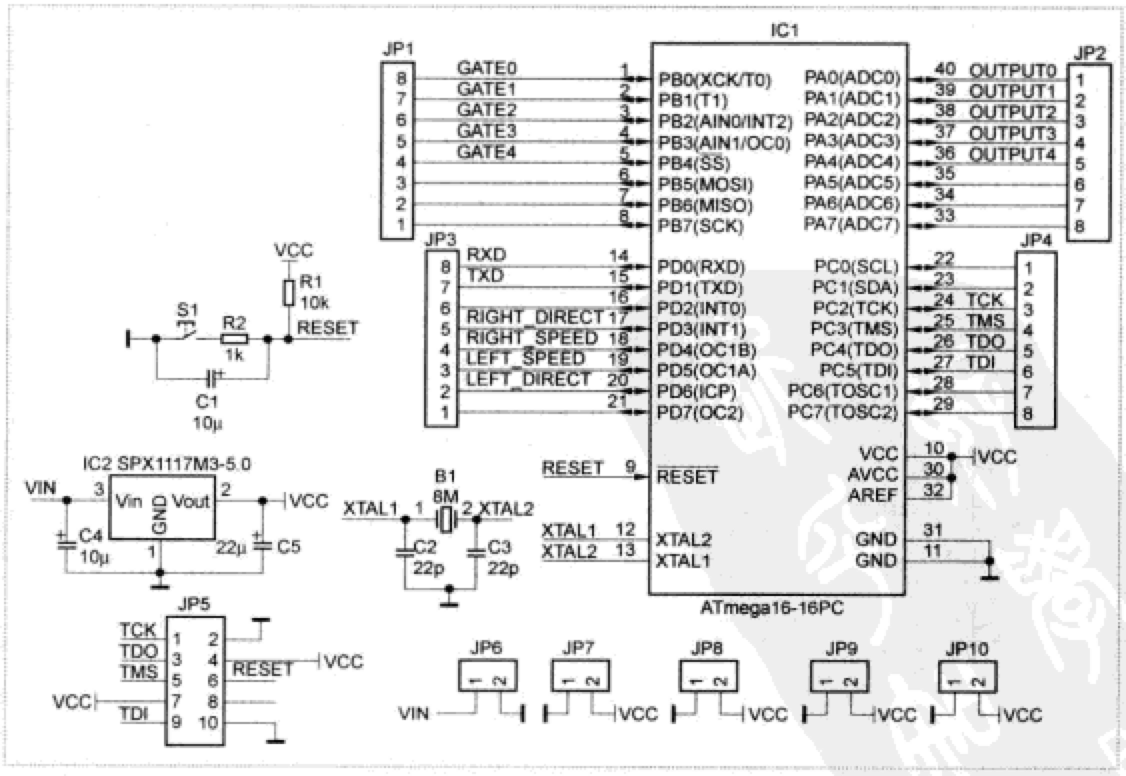


图3 主控板原理

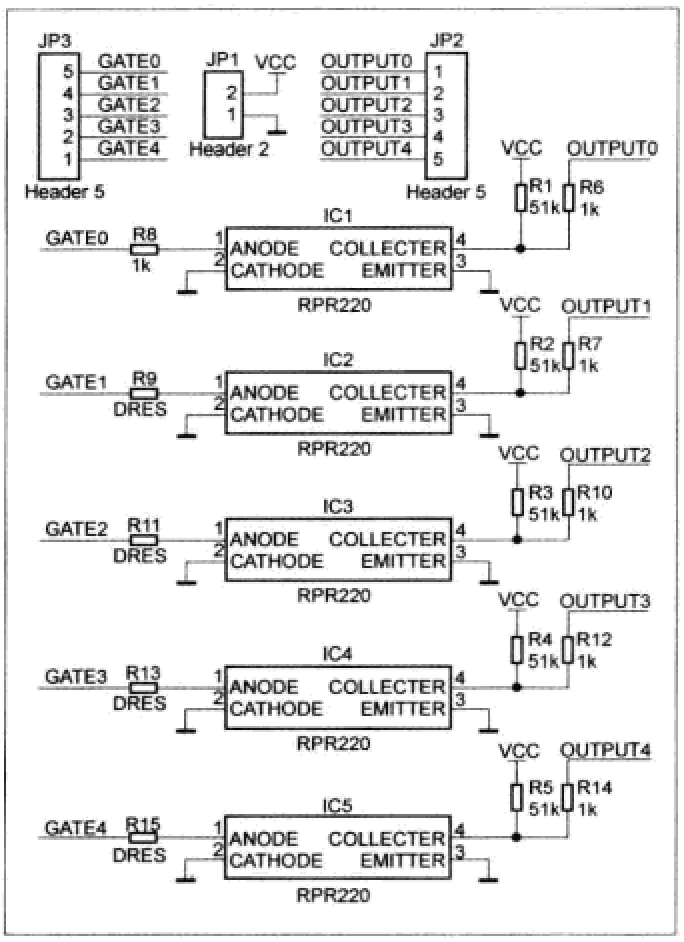


图4 光电对管板原理

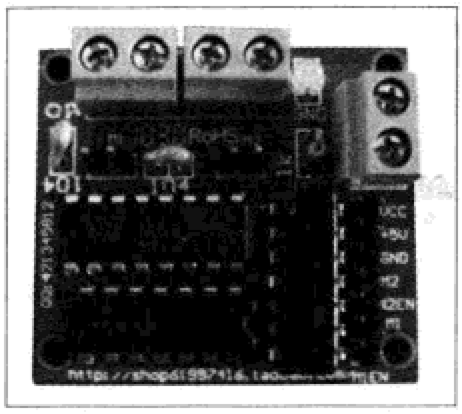


图5 电机驱动板

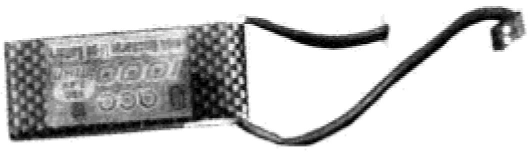


图7 电源

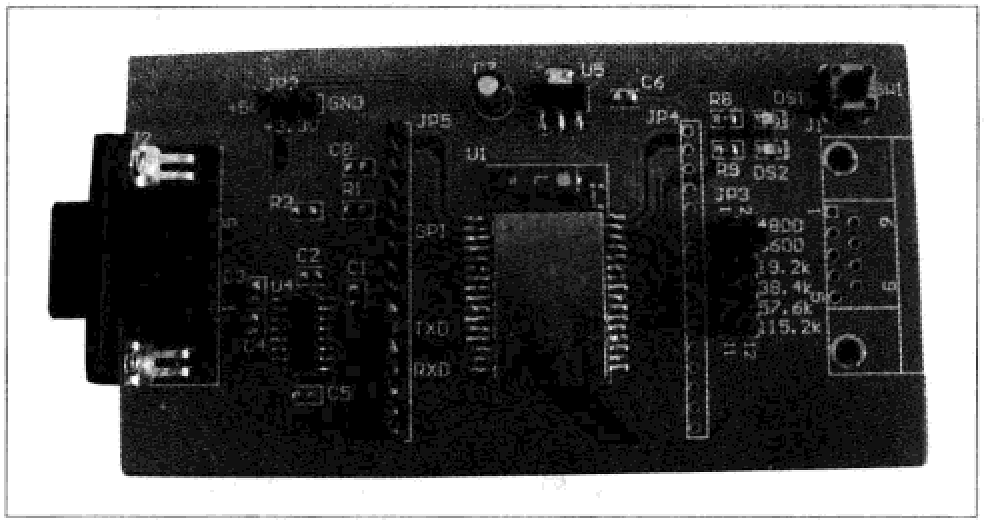


图6 蓝牙模块

5. 电源

电源采用可充动力锂电池，输出电压7.4V，电池容量1000mAh，放电倍率15c，实物见图7。

所有硬件电路使用六角铜柱与车身进行装配，制作完成的小车实物见图8。

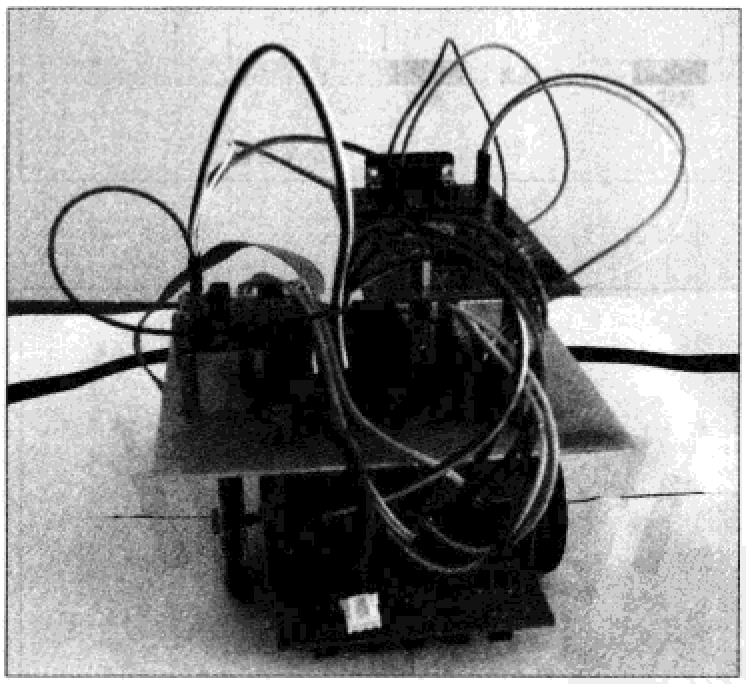


图8 装配后的小车

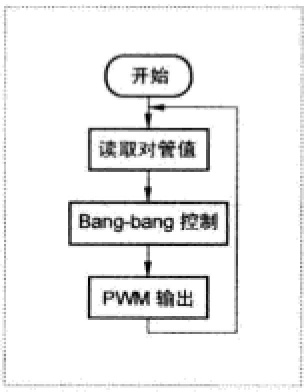


图9 软件流程图

软件设计

控制软件主要实现对光电对管的输入采集、电机的速度控制、小车方向控制以及循迹控制算法的实现。目前对于循迹算法，主要有PID控制与Bang-bang控制两种控制算法。这里，采用相对简单的Bang-bang控制来实现循迹功能。软件的总体流程见图9。

软件实现主要有以下几个要点：

1. 轨迹检测

光电对管根据地面颜色、材质等的不同，其反射光强度也不同，这就导致对管接收端导通程度不同。如果对管照射到白色地面，则光线大部分被反射，接收端导通程度高；如果对管照射到黑色地面，则光线大部分被吸收，接收端基本不导通。通过单片机将对管接收端输出进行AD转换，判断AD值如果大于某个设定值，即表示对管在黑线上，反之则在白色地面上。

单片机持续扫描5个对管输出值，根据这些值来判断当前轨迹位置。其判断原理如图10所示。

2. 速度控制

电机速度控制采用PWM控制方式。

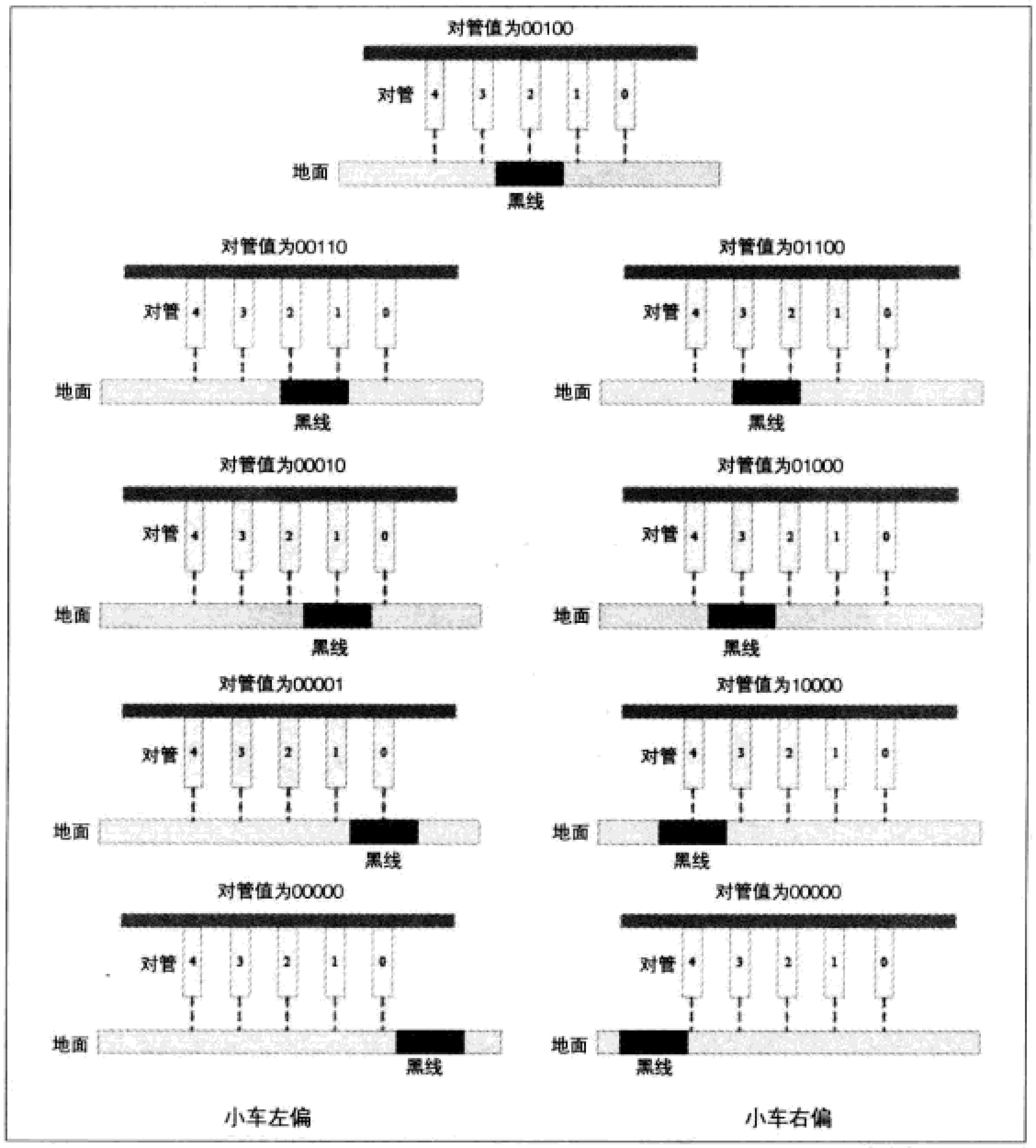


图10 对管值与小车偏向示意图

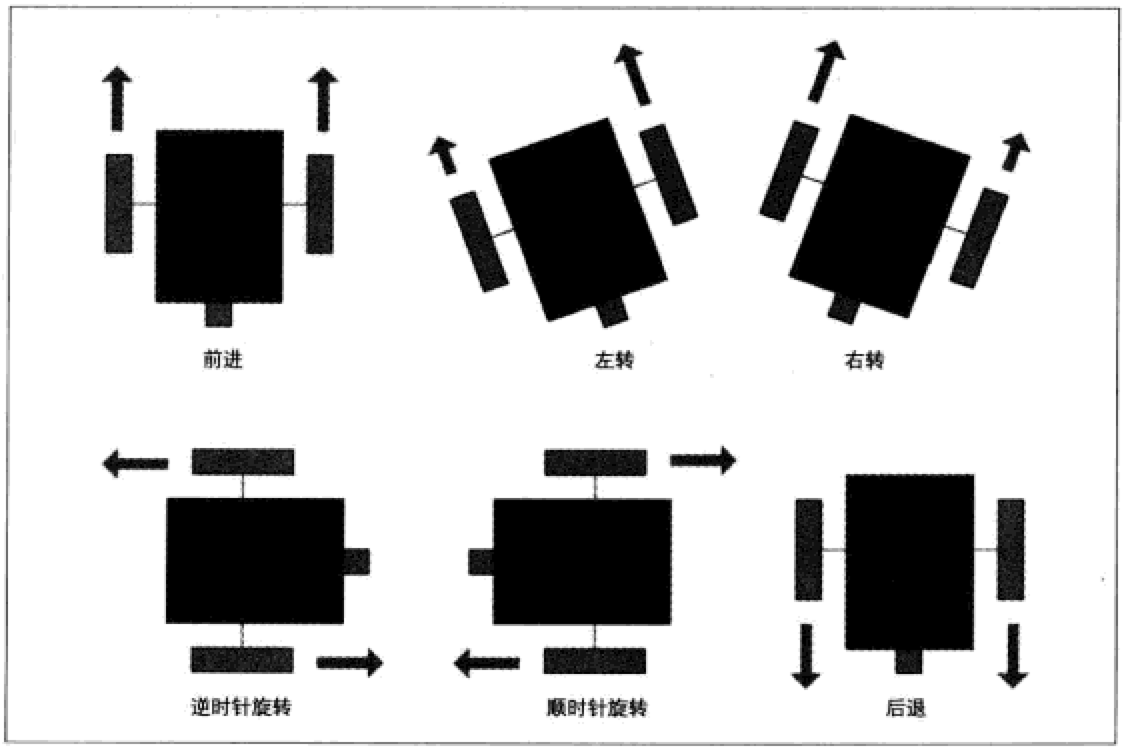


图11 小车方向控制原理示意

通过调节PWM的占空比，来调节电机上加载的电压，从而实现对电机速度的控制。本设计采用ATmega16的16位定时器实现两路8位PWM输出，来同时控制左右轮两个电机。

3. 方向控制

通过设置左右轮的速度，可以实现对小车不同方向的控制，包括前进后退、左右转动以及原地旋转等。其控制原理示意见图11。

4. Bang-bang控制

Bang-bang控制过程描述如下：当检测到当前小车往左偏时，控制小车往右转向，反之则往左转向。当小车完全偏离轨道时，此时得到的对管值为00000，这时小车可能处于完全左偏或完全右偏的状态，因此需要根据前一个对管值来做左右转向判断。如果前一个对管值表示小车左偏，则控制小车右转，反之则左转。

总结

为了试验小车循迹效果，设计了一个简单的环形跑道，其黑线宽度为18mm。小车基本能够实现循迹的功能，并且具有较高的行驶速度。当然由于循迹检测方式及控制算法的问题，小车仍然存在很多不足，主要包括：

1. 当转弯弧度太大时，小车很容易脱离轨道。由于光电对管检测轨道时，检测距离短，无法对轨道进行预判。当进入转弯弯道时，不能提前让小车进入减速状态，因此造成高速转弯，小车失去控制。

2. 当行驶速度太大时，小车左右晃动严重。这主要是Bang-bang控制自身的缺陷造成。由于Bang-bang控制只是简单的开关控制，无法像PID控制那样通过分析过往偏差，逐渐增减控制量。因此小车始终处于超调控制中，晃动是无法避免。

从以上分析可以看出，当需要小车进行大弧度转弯以及平滑行驶时，摄像头加PID控制方案仍然是要优于本小车设计方案。

DIY个性化尼康单反相机遥控快门

◎温正伟

数码相机现在已进入寻常人家，单反相机也不再是专业人士才能把玩的玩物了，越来越多业余爱好者都可以享受摄影带来的乐趣了。也许你会遇到这种情况：使用三脚架拍摄照片时，因为按快门的瞬间力度过大，导致相机震动、歪斜，从而破坏画面的完整性或导致画面模糊。使用外接电子快门线或红外遥控快门则可以避免手按机身快门造成的震动。使用红外遥控快门还可以进行远距离的拍摄或自拍。笔者经常使用尼康D70S拍摄电子小制作，也会时时遇到以上的问题，虽然购买一款正品ML-L3红外遥控快门是个不错的选择，但对于爱好电子制作的笔者想的是如何DIY一只好用的个性化的红外遥控快门。

电路原理

相机的红外遥控快门也是由典型红外遥控系统组成，它包括发射和接收两大部分，发射部分包括按键、编码调制、LED红外发送器，接收部分则在相机机身里面。通常红外编码是由专用的芯片进行调制的，在这个制作中选择使用AVR的ATtiny13来完成红外信号的编码及调制。Attiny13只有8个引脚，体积很小，内置RC振荡器、定时器等，可以把电路做得很小，组成的电路见图1。电路中按键用于接通电源，作为电源开关，按键不被按下时，电路完全不耗电，所以此电路符合低能耗要求。按键按下后，电路导通，芯

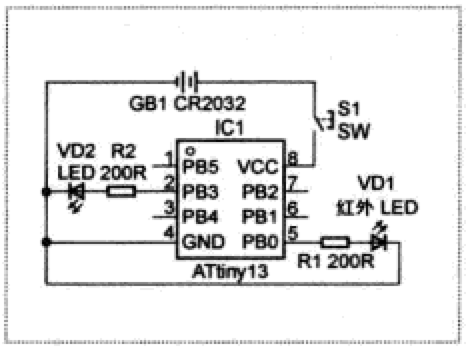


图1 遥控快门电路

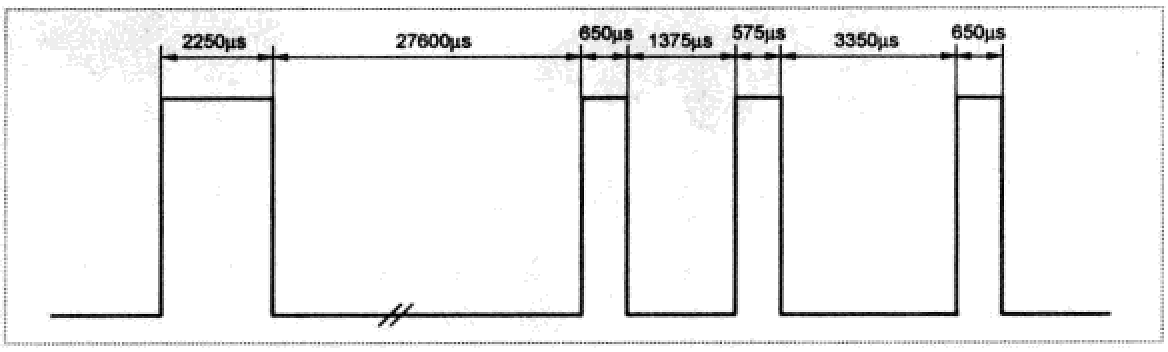


图2 红外编码时序

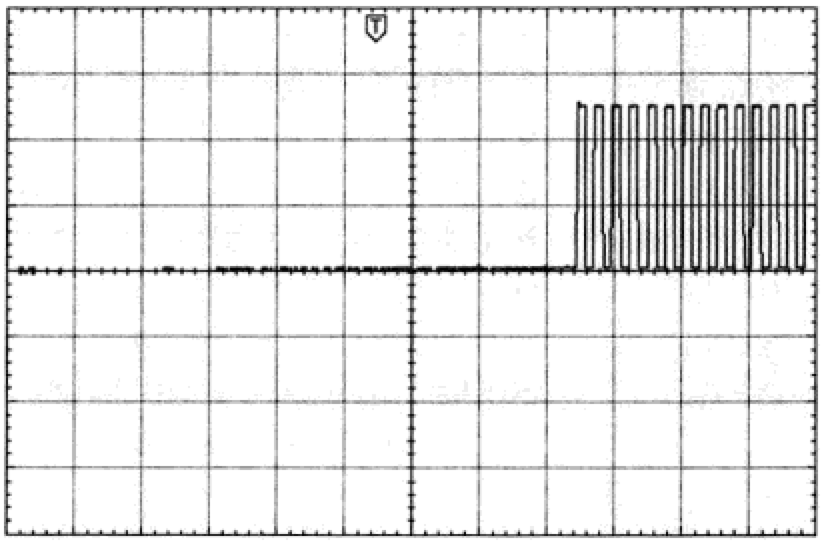


图3 实测遥控快门编码时序

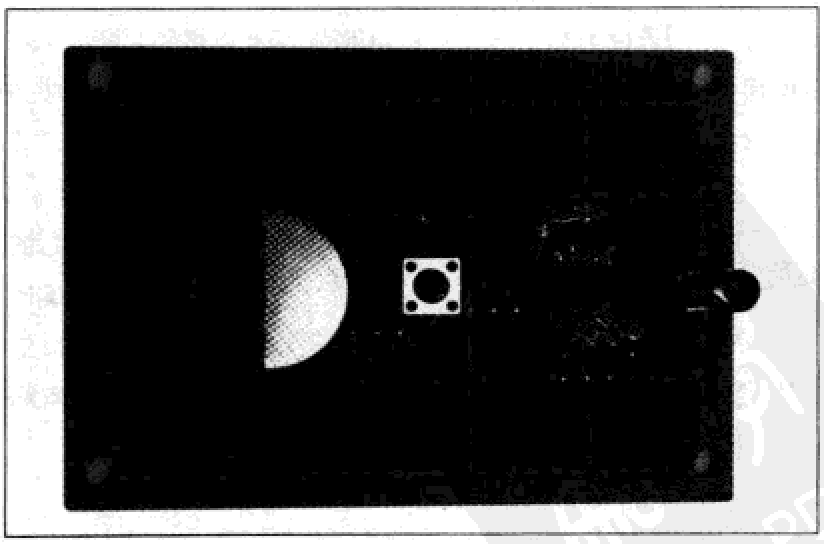


图4 实验电路

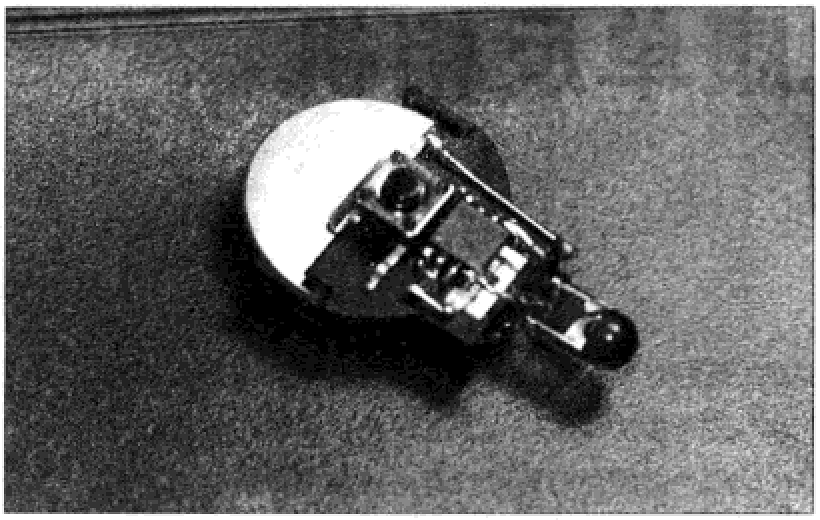


图5 焊接完成的电路

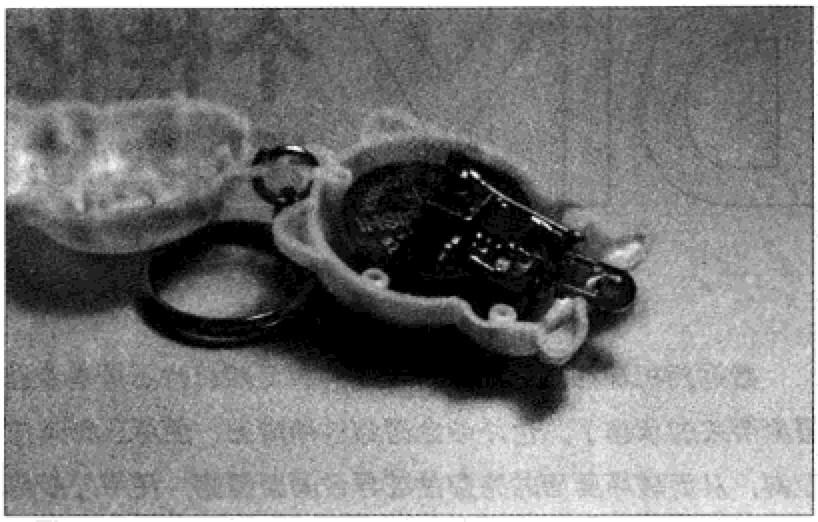


图6 装入玩具猪内部

图7 制作完成的实物

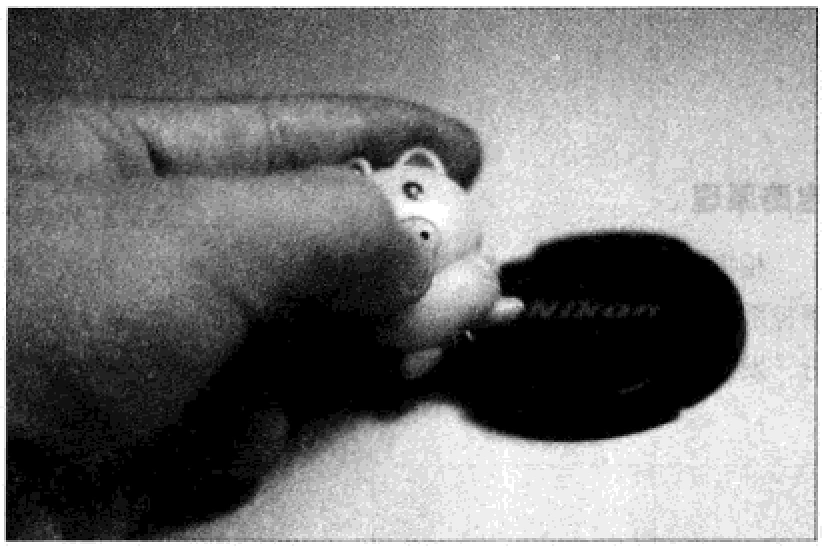


图8 拍摄的试验照片

片开始工作。芯片使用内部9.6MHz振荡电路，不经过分频，使得定时器工作在快速PWM模式下，产生40kHz方波，调制后通过R1限流从VD1输出红外信号，同时通过R2限流点亮VD2指示灯。电池可以使用小型的3V钮扣电池，如CR2032等。如果要进一步简化电路，可以把VD2、R1、R2去掉。

编程思路

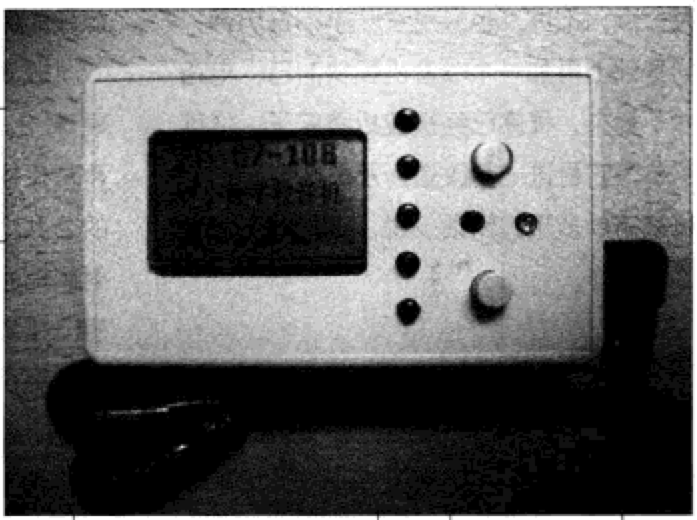
图2是红外编码时序图，此图来源于国外一网友的网站，可以支持尼康的如下机型：D40、D40X、D50、D60、D70、D70s、D80、D90、D5000、D3000、Coolpix 8400、8800、P6000。笔者的编程思路是设置Attiny13的定时器为第二种快速PWM模式(TOP=OCRA)，这样可以在PB0上得到40kHz的脉冲方波。根据图2上的方波时间打开或关闭PWM模式就可以得到40kHz的调制信号，用于驱动红外LED。编码在发送完成后间隔60多毫秒可以进行第二次发送。本文程序使用C语言，编译环境为AVRStudio+Winavr。图3为实测的调制后的信号。根据这个思路，只要知道遥控编码，就可以修改代码制作出其他型号或其他用途的遥控器来了。程序可到《无线电》杂志的网站下载。

制作要点

制作本电路要注意的就是在烧录单片机固件程序时，应注意把CKDIV8熔丝位不编程，使系统时钟工作在不分频的状态，振荡器熔丝位选择片内9.6MHz的RC振荡器。为了验证程序的正确性，笔者用万用板搭了个实验电路，见图4。为了美观及方便使用，笔者把儿子的玩具发光小猪找来，去掉里面的电池及LED，把电路直接搭焊好后（图5），装入玩具小猪内部（图6），便成了又美观又方便携带的红外遥控快门了（图7）。图8是使用它来进行拍摄的试验照片。读者朋友也可以到作者的论坛www.cdle.net/bbs 得到更多关于这个制作的资讯和讨论。

◎卫小鲁

小小数字调频收音机



去年我就做过一个数字调频收音机，当时曾计划做个体积小的，但因为没有找到适当的显示元件：用LED耗电大，信息少；用段式液晶，需要专用驱动电路，也不能随心所欲地显示信息，最后还是用了字符LCD，但找不到体积小、电压低的产品，只得使用3V的1602字符液晶，体积也就无法缩小。后来买到这种小尺寸、宽电压的串行图形液晶，才为打造这个小小收音机创造了条件，经过一番努力，终于达到了目的，做好的收音机外观见题图。你可能说了，都什么年代了，谁还装什么收音机？是，今天装收音机的分量远远不如20世纪50、60、70年代，那时的无线电爱好者由于条件所限，装收音机几乎是唯一选择。时代不同了，现在的收音机自然也不同了。那么这个小调频收音机有什么特点呢？

1. 使用DSP模块RDA5807，它体积小，采用数字处理技术，灵敏度高，选择性好，失真小，并且不需要外部可调元件，还集成了32Ω耳机输出和16级电子音量控制，大大简化了硬件安装调试；

2. 加入了实时时钟芯片，使它具备日历钟功能，达到收音、看表两不误；

3. 采用无字库12864图形点阵液晶，通过自己制作所需的汉字和图形符号点阵，使它具有非常个性化的显示界面，通过编程调谐刻度。音量指示、信号强度等动态指针，使得显示效果非同一般；

4. 使用450mAh的聚合物锂电池做电源，比5号电池既耐用，体积又小，内装TP4055充电模块，可以从任何5V电源充电而且不会过充，用LED做充电状态指示，清晰明亮；

5. 全机装在85mm×50mm×21mm的ABS成品塑料外壳中，小巧美观，用耳机线做天线，既方便又免除了小盒子无法拉杆的麻烦，虽不是随身听也算是随身收，非常实用。

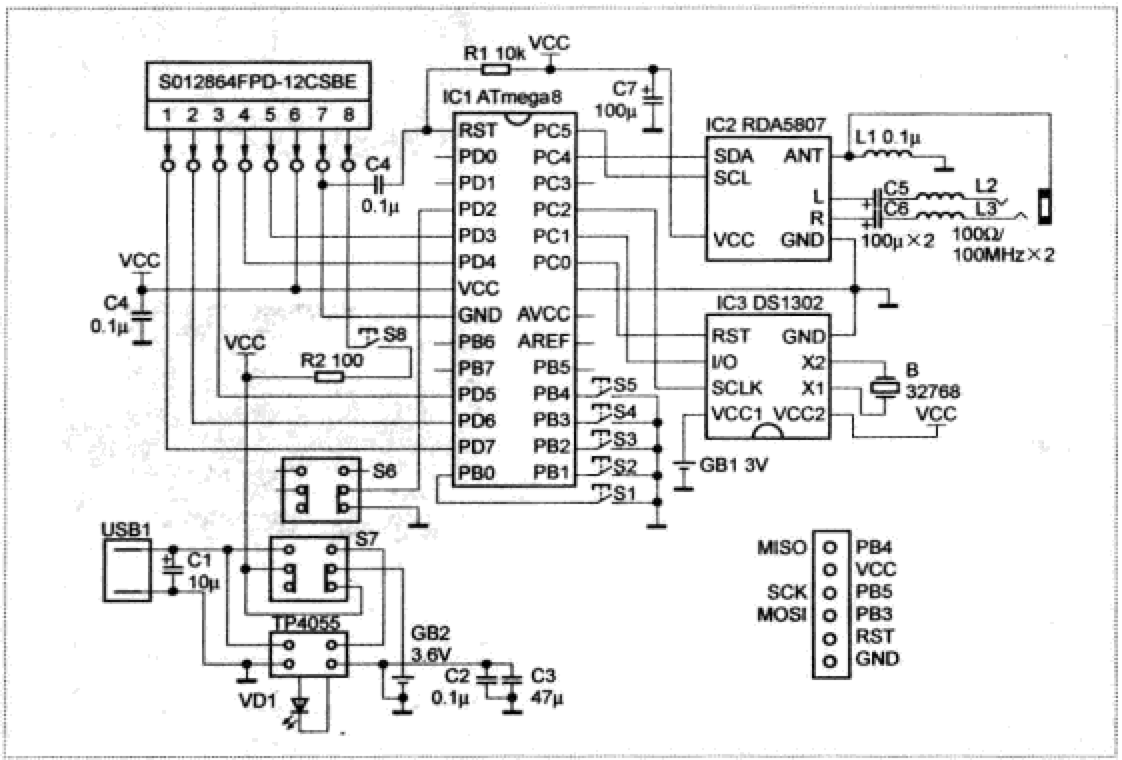


图1

那好，听你吹得天花乱坠，难道就没有缺点吗？当然有，一是小液晶、锂电池、单片机等还不算省钱，整个制作下来比买地摊收音机要贵，但它还称得上物有所值，如果你去买一个具有液晶显示动态模拟指针的小收音机看看，就是大名鼎鼎的“两德”怕也没有这种产品……只要高兴，甚至可以把你的大名整到液晶屏上去。另一个“缺点”，就是它得依赖单片机工作，对于初学者来说，制作难度是要

大一点，不过，也只是在“小小日历钟”的基础上再加一个收音机模块而已，电路并不复杂，程序已经被我折腾好了，你可以参考它再进一步改造，那总比自己白手起家简单多了。闲话少说，下面就来详述这个制作。

电路原理

电路见图1，可见还是比较简单的。IC1、LCD都是前面几个制作使用的ATmega8单片机（简称M8)和SO12864FPD图形点阵液晶，IC3就是实时时钟电路DS1302，IC2是DSP收音机模块RDA5807。和任何单片机装置一样，它就是使用者通过单片机操控其他芯片的工作，各芯片的工作信息又通过单片机在显示器上显示出来。M8的PD口用于控制LCD，PB口用于按键S1～S5，PC口用于控制5807和1302，或许你会问，为什么几个制作同样用M8引脚连线会变来变去？这个首先必须满足电路要求，例如5807的SDA和SCL与M8一定要对应，不得改动（除非你坚持要用软件模拟I^2C），M8就是通过这两根线把TWI的硬件接口和5807相连来读写后者的寄存器以控制它，然后按硬件布置方便来接线。例如1302的3根控制线从图上看为什么非要拧着接到PC0、PC1、PC2?这是因为实际安装时M8和1302分别装在电路板的两面，只有这样才方便而且最短。

PD2接到一个小自锁开关S6，因为PD2也是M8的INT0口，现在通过INT0电平中断来实现收音控制功能和时间调校功能的随意切换，S6弹起时PD2电位高，是收音控制状态，这时轻触按键S1～S5分别是收音机的调台、搜台、音量、存台、回放功能控制键；S6按下时PD2电位低，S1～S5的功能转换到日历钟调节，S1为光标移动，S2为数字递增，S3为数字递减，S4为取消，S5为确定修改。由于增加了数字递减键，使得调校更加方便，按键S8是液晶背光开关，因背光费电，所以只能偶尔使用。

收音模块的输出L和R分别通过贴片磁珠L2、L3和耦合电容C5、C6接到立体声耳机插座，对应耳机左、右声道，耳机的公共地线连接到收音机的ANT天线端，射频信号进入收音机，音频信号则通过电感L1接地，它对音频等于短路，对高频信号的阻抗却很高，迫使耳机线感应的调频信号不得不进入收音模块。

电源部分则很简单，原因是M8单片机、1302日历钟电路、5807收音机模块都可以在3～5V电压正常工作，所以也就省掉稳压电路。S7也是小自锁开关，弹起时锂电池GB2连接到充电模块4055的输出端，如果接上外部5V电源，则电池被充电，收音机由外部5V供电，S7压下，电池和充电器断开并给收音机供电。原本充电模块上有一个贴片LED用作充电指示，但因外壳不透明，闷在里头不起作用，所以把它焊下，另用一个3mm的高亮度红色LED代替（图中的VD1），安装时它伸出外壳上的小洞。另一个小纽扣锂电池GB1是1302的后备电源，在主电源断电时仍可保持1302走时。

硬件组装

想必大家对“削足适履”的典故耳熟能详，难道古时候真有那么笨的人？可是这个小制作却不得不按照那个郑国人的办法行事：因为采用了成品外壳，而它又比较小，所以内部的电路板、元件尺寸和相互位置都受到限制。这和以前焊完板子就算完事的作品就不一样了。

首先是元件选择。

1. 外壳

外壳：买的成品。不盖盖子尺寸是84mm×49mm×19mm，ABS塑料，盖子用卡扣固定，里面底部四角有固定电路板的固定柱，可使用自攻螺丝固定电路板。

2. 万用板

万用板：因为外壳内空间是

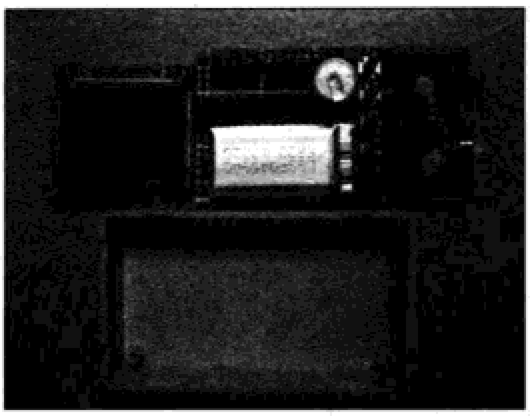


图2

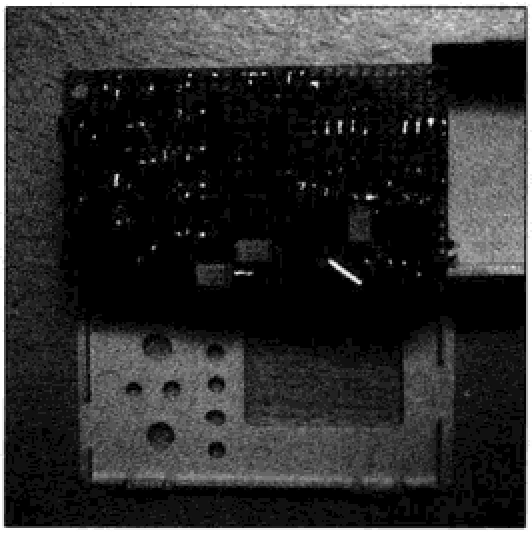


图3

图4

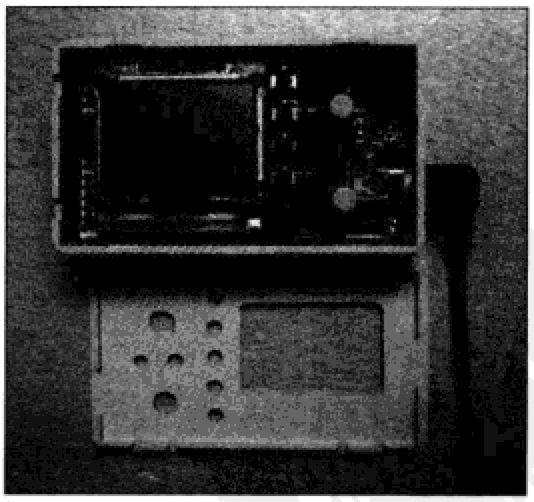


图5

80mm×46mm，电路板侧边要装电源插座和耳机插座，插座需要沉入到外壳侧壁开孔内1mm，所以电路板尺寸取79mm×46mm，因中部需装S1～S8，故最好用1mm～1.5mm厚的环氧基板，这样刚度较好。

3. 锂电池

锂电池GB2：使用尺寸为052040的450mAh聚合物锂电最合适，除非使用更大的外壳，尺寸更长或更宽都会给安装造成困难，GB1使用CR1225的一次性纽扣锂电池。

4. 按键

按键：使用常见的小型6mm×6mm轻触按键，但是对键柄长度有所要求：必须能伸出盖子外。针对所用的外壳，S1～S5，键柄长12mm，这样能伸出盖子2mm。S8用键柄长10mm，使它伸出盖子0.5mm，以免误按。S6、S7是6mm×6mm的小型自锁开关，买时需配键帽，使它们也能伸出外壳盖子。

5. 充电模块

充电模块：TP4055网上有卖，有两种，要选超小迷你的尺寸13mm×8mm，否则装不下。

6. 单片机M8和时钟电路DS1302

单片机M8和时钟电路DS1302：因为和万用板搭配，所以还是用老伙计双列直插，如果自己制作PCB，用贴片就更省地方了。不过因为受高度限制，不能使用插座。

7. 其他

其他：只有两个电阻，用引线或贴片都行，C1、C3用的贴片电容106，C5、C6、C7用的贴片钽电容107，它们用10V引线电解也能勉强装下。L1是100nH的贴片电感，L2、L3是贴片磁珠（100MHz，阻抗1000Ω），这是5807手册建议的，如果手头没有的话直通也行，主观上听不

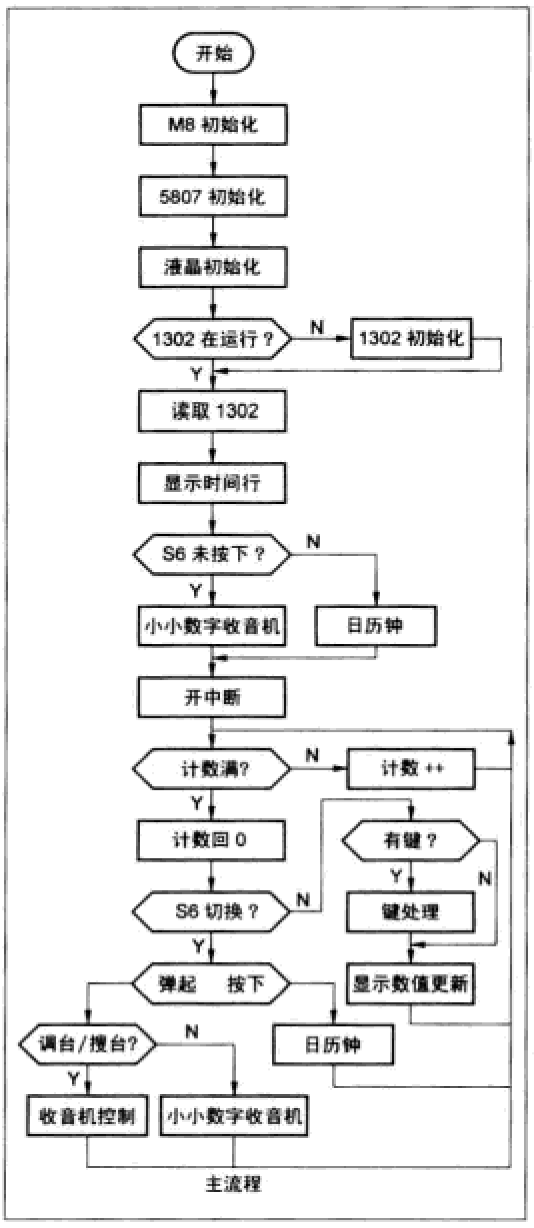


图6

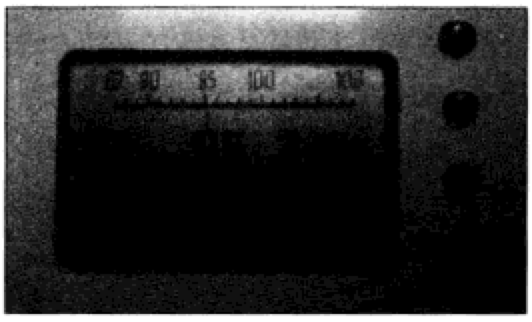


图7

出有什么区别。

组装：用上述小万用板来组装全部元件。安装前首先把万用板切到所需尺寸，让它靠齐外壳右侧，在4角和外壳安装孔对齐位置钻3mm孔。要仔细排列插座、按键、IC1、充电模块、电池在电路板正面的位置，再安排IC2、IC3、除了C3以外的所有电容和贴片电阻安装在电路板反面的位置，液晶使用圆孔排针座插装，它装在IC1和电池的上方，不占用电路板面积。具体安装位置见图2、图3：从上到下一排5个按键是S1～S5，两个自锁开关上面是电源开关S7，下面是功能切换开关S6，它们之间的是背光开关S8。因成品圆形排针太高，不能用于焊接液晶引脚，故使用LED截下的管脚焊引脚，务必使液晶表面和外壳上缘平齐，不影响盖盖子。另外，C3直接焊在充电模块输出端上。把这模块上的贴片LED焊下，另外焊线到电路板和VD1连接。安装所有开关都要注意平整，除了S8外都紧贴电路板，S8要稍微离开电路板，否则太低。M8和1302都不使用插座直接焊在电路板上，否则太高。把除了电池GB2以外的元件都焊好后，就焊连线，距离近的焊点直接用焊锡搭桥，距离远的就用导线。要边焊边检查，保证过程的正确性。因为集成电路已经焊上去了，所以特别注意管脚之间的清理。M8的空置脚可以不焊。

做一条电源线，一端焊上USB扁插头，另一端焊上3.5mm电源插头，见图4。

下面一项工作是在外壳和电路板对应的位置开孔，电源和耳机插座孔开在右侧，按键孔、LED孔、液晶窗口开在盒盖上。重要的是找准位置。钻孔时先用小钻头定位，然后用大钻头钻通孔。对于较大的液晶窗口，用3mm钻头钻通，然后用钻杆的排屑刃铣削，塑料受热后变软，很容易割开，只是千万不要过界。最后用小平锉、什锦锉等仔细修正，重要的是细心和耐心。电路板装在盒子里的状况见图5。盖上盖子应不卡按键和开关，否则就适当修正钻孔。

程序和小诀窍

主流程见图6，LCD有三个显示界面：开机界面小小收音机，日历钟界面和收音机控制界面见图7。开机后如果未按下S6显示开机界面，否则显示日历钟界面。在开机界面时如果按下调台键S1或

搜台键S2则切换到收音机界面，它显示收音有关信息。S1～S5键的功能在两个界面不一样，程序中键处理是要执行对收音机控制功能还是日历钟的设定功能取决于S6键是弹起还是按下状态。另外显示界面数据更新也是由它决定：弹起为更新收音机界面数据，按下为更新日历钟界面数据。而几个界面具有共同的位于LCD最下方的日历时间行，它的数据总是要更新。所以，程序中关于数据更新部分较多。在界面图形绘制上是采用基本页列坐标写数的办法，在FLASHROM中的字模表中按需要建立一些自编的符号和汉字，例如立体声就是一架录放机，真台就是一个三单元天线等，按读取收音机模块状态寄存器的结果显示。而那个调频模拟刻度指针是这样制作的：由于调频接收范围是87～108MHz，按100kHz间隔搜索（这个在5807编程中已经设定好），那么从87.0～108.0最多有（108-87）×10=210个频率点，液晶水平只有128个像素点，就是每点一个频率也放不下。所以取210的一半就是105个像素点，每点代表两个频率，就按这样在第1页位置画出标尺。见程序。

程序

```
for(i=14;i<120;i++)//画出105点长的水平线，起始点14列
  {
    LcdSetxy(i,1);
    LcdWriData(0xc0);//线宽2点
  }
for(i=14;i<120;i+=5)//每5点画一道短刻度

  {
    LcdSetxy(i,1);
    LcdWriData(0xf0);
  }
for(i=29;i<120;i+=25)//整数90MHz起每25点画一道长刻度
  {
    LcdSetxy(i,1);
    LcdWriData(0xfc);
  }
```

标尺起点位于14点处。画调谐模拟指针就是根据每次按调谐键S1或搜索键S2操作5807调台或搜台后，从5807读出频率点chanl，把它除以2后的值作为指针的划线位置，就可以画出指针了。也就是：

```
Pin=chanl>>1;
LcdSetxy( Pin，2);//在第2页画指针
LcdWriData(0xfe);
```

模拟指针位置是标度尺下边也就是第2页，当然在划线前先进行一次擦除原有指针的操作。

界面中信号强度指示和音量指示的方法和频率刻度类似，涉及数量少，就不多说了。

程序中关于存台和回放的实现：我用的办法是，搜索到电台以后，在M8的EEPROM中把电台的上述频率点按先后存起来，存放地址是0x10～0x19，可以存10个台。在0x1a单元存放存台位置，就是下一个存台单元地址（存台指针）。那么按下存台键以后，先在0x1a读出存台指针，然后按指针位置把频率点写入EEPROM，也写入新的存台指针。当存满10个台后，继续存就又从0x10开始。回放则是顺序循环读出0x10～0x19中的频率点，再调谐到各点就行了。当然在编程中一定要设定熔丝位BOD，使EEPROM在断电时能可靠保护数据。

调试

各元件安装好后，先不焊上电池GB2（GB1一定焊好），仔细检查电路板，消除肉眼可见的瑕疵，关键是电源线首先要到位，又不得短路。现在M8、1302和5807都焊死了，更要注意检查。确认没有问题，不要按下电源开关S7，插入5V电源，这时LED会闪光指示电池没接上，不理它，下载程序。完成后LCD立即显示小小数字收音机或日历钟。如果液晶是白板一块，那还是硬件有问题，检查M8和液晶电源是否正确？M8和LCD间的控制线相邻焊点间是否存在短路（例如焊接线多余的线头未剪去）？引线焊接是否和程序设置一致？这些缺陷都消除以后，只要元件正常，绝对会显示的，然后转到日历钟界面检查按键功能并校正日历、时钟到正确值，转到收音机界面插上耳机按搜索键S2就能搜到当地调频电台。

正常后拔掉电源插头，焊上电池线（红正黑负，千万不能接错正负极！），插上电源插头，LED红灯亮起，电池开始充电，大约充一个半小时或更长时间，LED熄灭，电已充满，拔掉电源插头，按下电源开关就可以投入使用了。然后，装盒、拧螺丝、扣盖，大功告成。

使用

开启电源后，按S6切换收音机或看钟，收音用S2循环搜台，目前我国不可能在一个地区有100多个台吧？所以很快可以搜完，按S3循环调节音量，搜到台后按S4存入，如果不搜台则存台键无效。以后用回放键S5就可以迅速调到存入的电台。调谐键S1用处不大，谁会去一点点按210次呢？不过有些弱台搜索可能漏掉，用它则可能收到。时钟调节键的使用和小小日历钟类似，不过这次加入了递减键S3，用起来更方便了，还加入了周日显示，需要时也可以调整（在日期时间行用汉字一二三四五六日显示）。我这里下午用它可以搜索到19个台，晚上更多些，用它听听新闻、音乐，效果很好。

结尾

无字库小液晶的使用就到这里了，可见这个东西不大，用途还是蛮大的，以上制作只是抛砖引玉，希望能引起你的兴趣，使得单片机制作不要局限于数码管或字符液晶显示，而是更加多样化，如果这些实例能对你有所启发，那就太好了。谢谢阅读。

DIY玩具无线耳机

◎刘亮

提到无线耳机，也许你会以为此文介绍的是调频无线耳机或者红外无线耳机，是的，它们似乎已经存在很久了，而现在，无线鼠标和无线键盘卖座的背后，厂家们又看到了商机，于是一种新式的无线耳机又诞生了，同样，它也得益于2.4G技术的发展。在此，笔者也介绍一下自己制作成功的一款无线耳机，虽然功能不如市场上的强大，音质也够不上完美，但是，平时替代一下太习以为常的有线耳机，也不枉是一种乐趣。

结构与原理

可能不少读者对2.4G无线耳机还不太熟悉，笔者先简单介绍一下。2.4G的无线耳机与以往的无线耳机有一个最大的不同，就是它的全数字化，两者的对比示于图1。

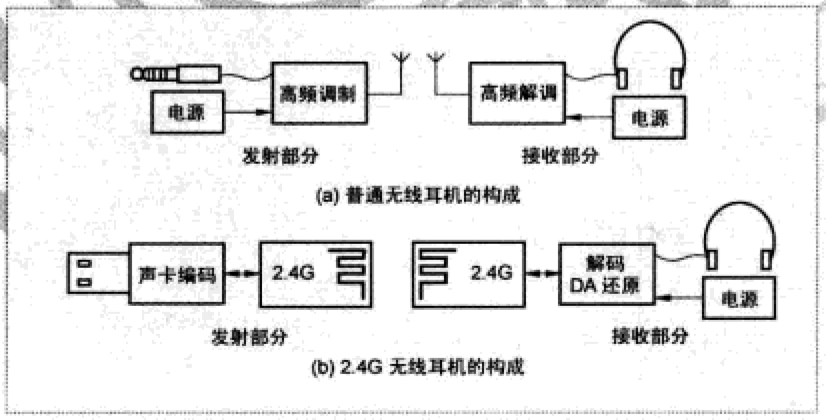


图1 各种声卡的构成

2.4G无线耳机与其他无线耳机相比，略去了3.5mm的音频输入接口，那么它是怎么得到音频信号的呢？实际上，2.4G无线耳机发射器插入电脑后，电脑自动识别为USB声卡，USB声卡输出音频数据通过处理后送至2.4G模块进行发射，接收部分接收后解码还原成模拟信号送至耳机，所以说，2.4G无线耳机的特别之处就在于它的USB声卡接口部分和2.4G无线发送部分。

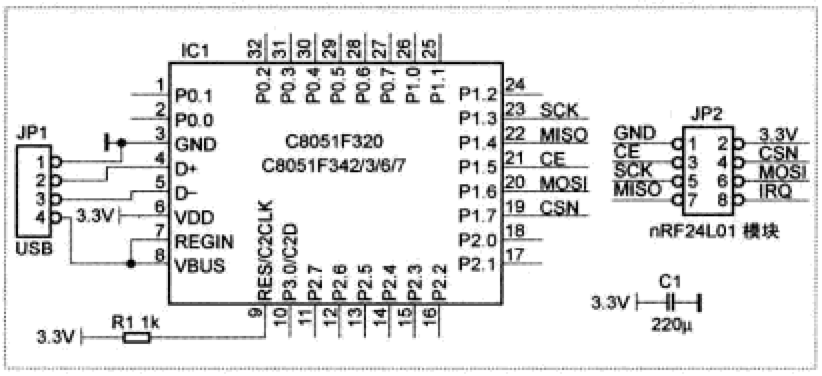


图2 发射部分原理图

2.4G无线耳机的传输部分主要参数有两个：一个是传输距离，一般在10m以内；另一个是音频数字采样率，一般好的能做到立体声、48KB/s（每秒48千字节）、16bit（16位采样）。我简单介绍一下音频数字采样率的概念：48KB/s、16bit是多大的一个数据流呢？USB声卡有个特点，也就是音频数据是按照“包”的形式进行输出的，这个包的输出速率是一定的：每毫秒1包。立体声、48KB/s、16bit的速率，一个包的大小就是2（双声道）×48（字节每毫秒）×2（16bit=2字节）=192字节，也就是说一秒钟1K个包的数据就是192KB，这个数据量是比较大的，举个例子：我们平时家中用的宽带应该是2Mbit/s，换算成字节大约是256KB/s，如果不经过压缩的无线耳机的数据量几乎可以赶上宽带了。因此笔者推测，成品耳机的数据流应该是经过了一定的压缩。

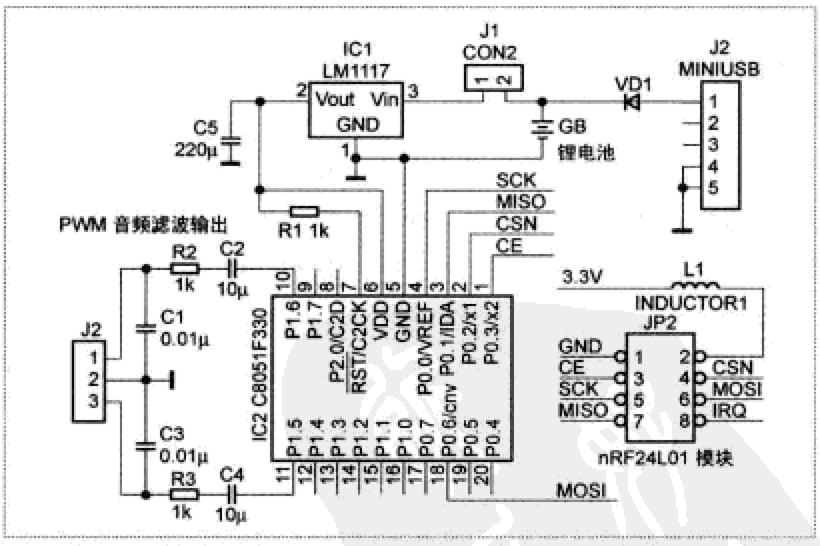


图3 接收部分原理图

硬件选择与电路组成

业余情况下，我们购置的芯片很难对音频数据进行压缩与解压缩处理，通用的无线模块的性能也达不到如此大的数据传输率，怎么办呢？只能采取降低音频采样率的方法实现。笔者的无线耳机的USB部分数字采样率为：立体声、16KB/s、16bit（其中发射时只用了高8位），无线发送数据速率降为原来的1/6，每秒16×2字节，不过性能总体来说还过得去，与FM的音效（22.05kbit/s）大体相当。

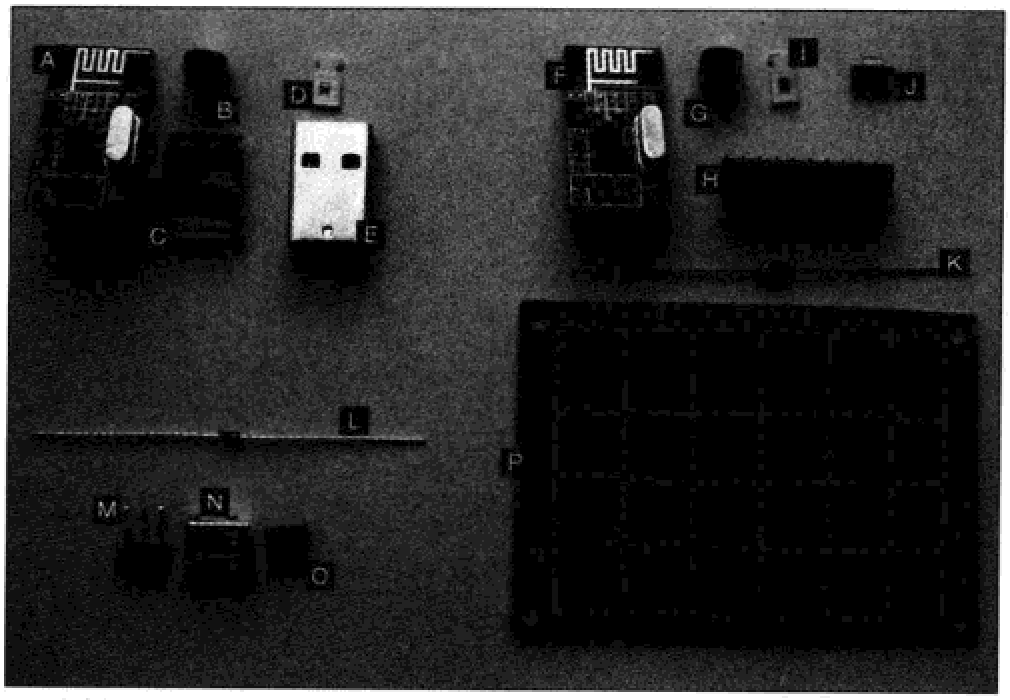


图4 全家福

表1 元器件说明

序号	名称	数量	说明
A	nRF24L01模块	1	发射部分2.4G模块
B	100μF电解电容	1	发射部分3.3V稳压
C	C8051F320	1	发射部分主控芯片
D	1kΩ贴片电阻	1	C8051F320上电复位电阻
E	USB接口	1	I型公头
F	nRF24L01模块	1	接收部分2.4G模块
G	100μF电解电容	1	接收部分3.3V稳压
H	C8051F330	1	接收部分主控芯片
I	1kΩ贴片电阻	1	C8051F330上电复位电阻
J	LM1117-3.3	1	接收部分3.3V稳压芯片
K	200μH电感	1	接收部分2.4G模块电感
L	1N4148	1	5V给锂电池充电串接二极管
M	插针	1	电池使用方式选择
N	miniUSB接口	1	电池USB充电接口，母座
O	短路块	1	配合M使用
P	洞洞板	1	以上元器件的载体

由于无线耳机数据率较快，对处理芯片也提出了一定的要求：

1. 发射主芯片最好自带USB功能，简化连线，接收主芯片最好自带2路DA（或者2路快速PWM）；

2. 自带SPI接口，I/O口电平为3.3V，能与主流2.4G模块接口匹配；

3. 高速，体积小，功耗低。

因此，发射部分主芯片笔者选用了Silicon Lab（美国硅实验室公司）的C8051F320（以下简称F320）。

F320具有以下特点：

1. C8051F系列单片机中的一款小型单片机，高速，25MHz晶振下，能达到25MIPS的运行速率，低功耗，5V供电，3.3V内核供电，电路附带I/O口、附带交叉开关（CrossBar），可切换特殊功能的引脚位；

2. 与MCS-51内核及指令集完全兼容，集成丰富外设与数据采集模拟器件，各种开发软、硬件完备，十分方便；

3. 独立片内JTAG仿真电路提供全速的电路内仿真，不占用片内用户资源。支持存储器和寄存器校验和修改；

4. 片内自带有USB收发器和控制处理器，是它区别于同一系列产品的一大特点。

因此，笔者看上的就是它的高速、51内核与USB接口。

无线模块采用的是Nordic公司出品的nRF24L01为核心的2.4G通信模块，它的主要特点为：

1. 2.4GHz 全球开放ISM频段，免许可证使用，125频道，模块可软件设地址，内置硬件CRC检错和点对多点通信地址控制；

2. 低功耗，1.9～3.6V工作，待机模式下状态为22μA，掉电模式下为900nA；

3. 高达8MHz的SPI接口，最高工作速率2Mbit/s，高效GFSK调制，抗干扰能力强，特别适合工业控制场合；

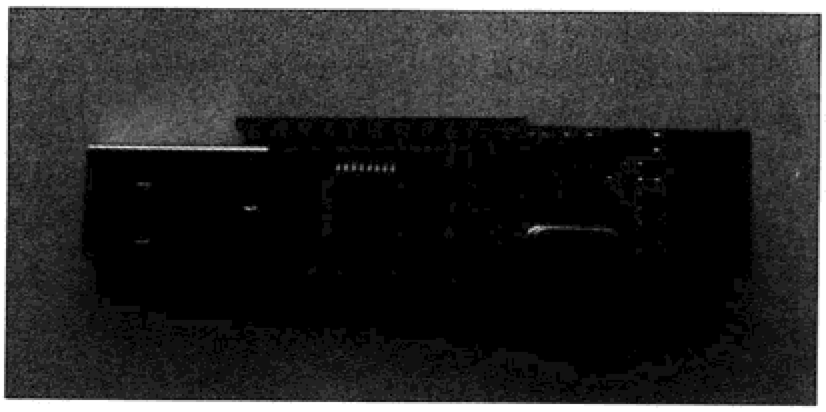


图5 摆个造型

4. 三层32字节FIFO，方便用户进行快速传输。

发射部分的原理如图2所示。

读者可以发现，其实电路非常简单，一个F320，一个nRF24L01模块，体积可以做到很小。

接收部分的主芯片选用了同一系列的C8051F330（以下简称F330），它与F320的区别在于减少了USB控制器等外设的数量，减少了I/O口数量，2.7～3.6V供电。因为笔者手中只有DIP20封装的，因此体积增大不少，读者自制，完全可以选择贴片封装。注意：330有2种，一种是330D，双列直插，另一种是330，QFN-20封装，此两种芯片的引脚排列不一样，具体请参照英文原版PDF。

接收部分的原理如图3所示。

同样，电路依然非常简单，一个F330，一个nRF24L01模块和一个LM1117（3.3V稳压芯片），音频输出则采用PWM与RC滤波的方式。

RC滤波有个计算方法，1/2πRC，R的单位为Ω，C的单位

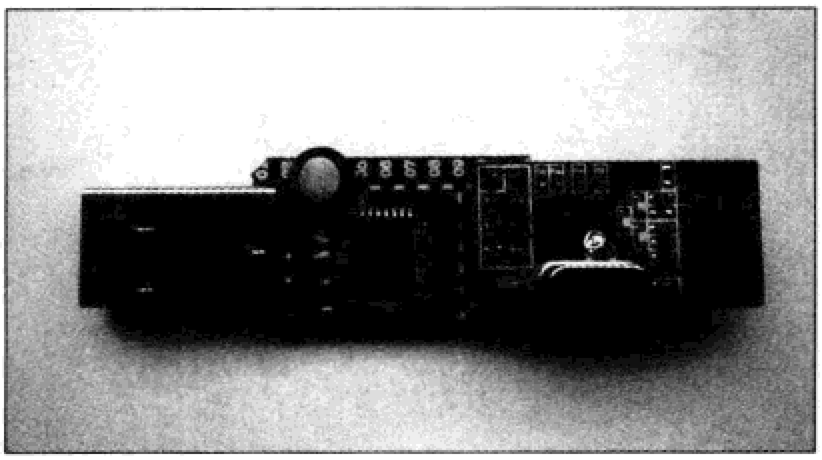


图6 发射部分完工（正面）

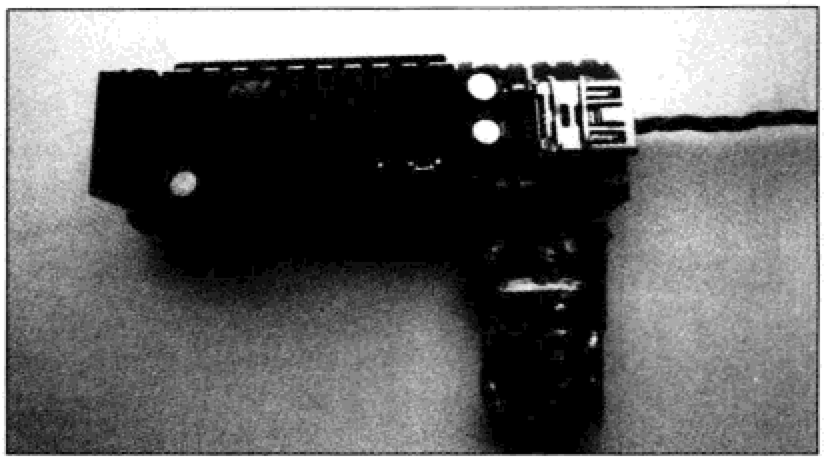


图8 接收部分焊接完成（正面）

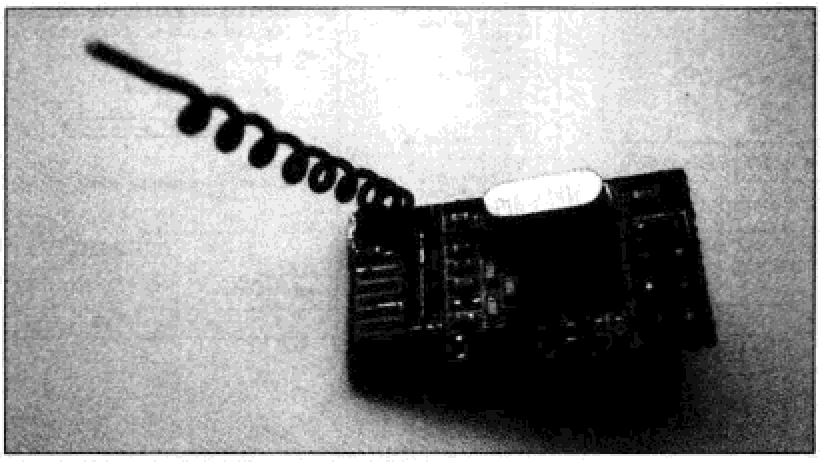


图7 为模块加了个小天线，性能有所提升

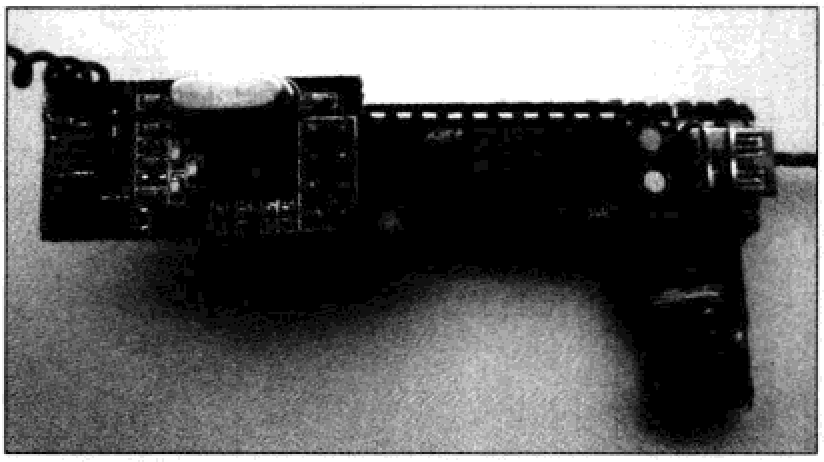


图9 接收部分完工

为F，在此选择R为1kΩ，C为0.01μF，得出6dB截止频率约为16kHz。

实际制作过程

来张全家福吧，如图4所示。

与无线鼠标、键盘的元器件大家族相比，感觉这次成员有点少，不过浓缩的就是精华的。

首先，截取适当大小的一块洞洞板，试试大小，够用即可，如图5所示。

由于F320是贴片的，因此可能部分读者会感到有点棘手，幸好引脚间距挺大，算一下，其实F320只需要焊接4+5+2+2条线，即USB的4条白线、SPI的5条蓝线、复位电路加下载2条黄线和电源红线加地黑线，这些完全可以在洞洞板上焊接，稍微小心点，很快就完成了，大概用去20分钟。如图6所示。

若使用的F330采用贴片封装，焊接方法同上。如果采用DIP20封装，那就更加容易。经过试验发现，其实无线模块的PCB天线上加个“小尾巴”一定程度上可以提升接收距离，如图7所示，读者可以自己进行试验。

简单计算了一下，焊接了3+7+1+2条线，电源3条，SPI的7条，复位1条，还有PWM输出2条。需要注意的是，那个电感的数值不一定是200μH，但是绝对不能少。不少朋友在抱怨：“我的nRF24L01丢包率怎么这么大?”这很可能就是因为电源不干净的缘故。其他的一般也没有什么问题，由于采用全数字的电路，一般无需调试，便可正常工作。如图8、图9所示。

很快，无线耳机的主体部分就完成了，发射部分很简单，插入USB接口即可使用，接收部分由于需要单独使用，供电的问题需要用心处理一下。由于加了一个LM1117进行3.3V稳压，压差为1V左右，考虑到F330最低工作电压为2.7V，使用的电源必须为3.7V以上，正好可以使用锂电池供电。读者可以发现，接收部分挂着的一个银白色的小东西就是笔者从一个蓝牙耳机上拆下来的，正好用上，并且顺便用miniUSB母座和1N4148串联，做了一个简单得不能再简单的充电电路，最后用胶带固定住电池，如图10所示。

大功告成，由于没有外壳，看起来有点寒酸，不过丝毫不影响它的性能和我们DIY完工后的喜悦心情。

软件编制流程简介

可以发现，硬件电路应该还算简单，那么软件的编制容易吗？不必着急，其实笔者在设计当初，只做了发射部分，并没有加上无线模块，说简单点就是一个USB声卡，而且只是具备音频

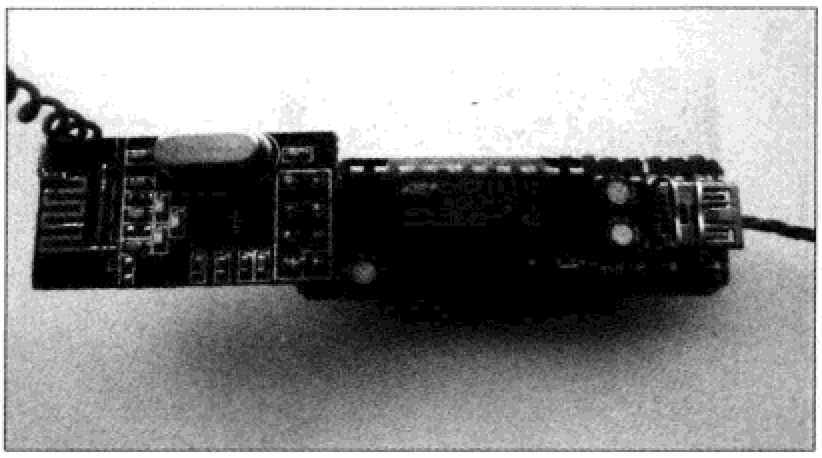


图10 用胶带固定住电池

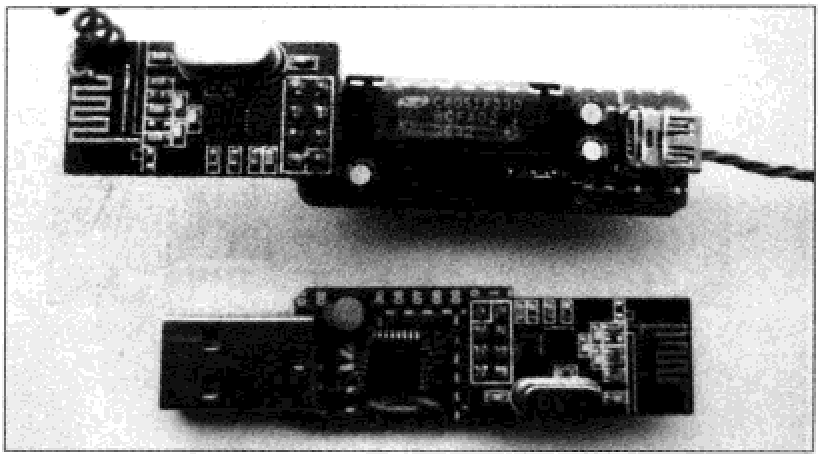


图11 对比图

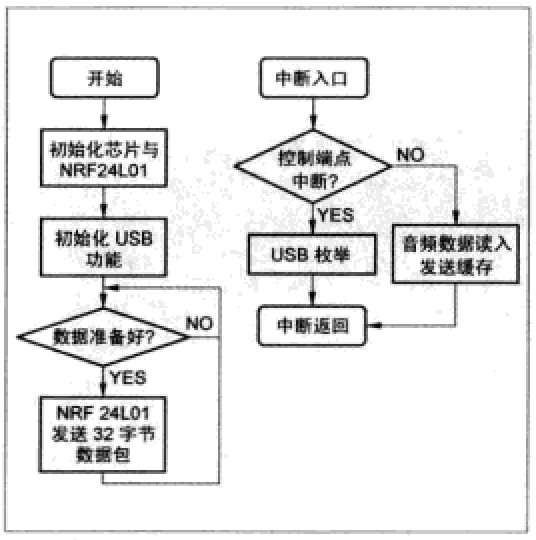


图12 发射部分流程

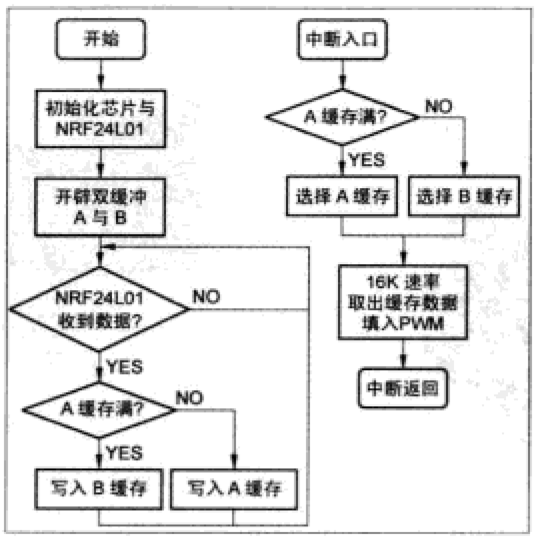


图13 接收部分流程

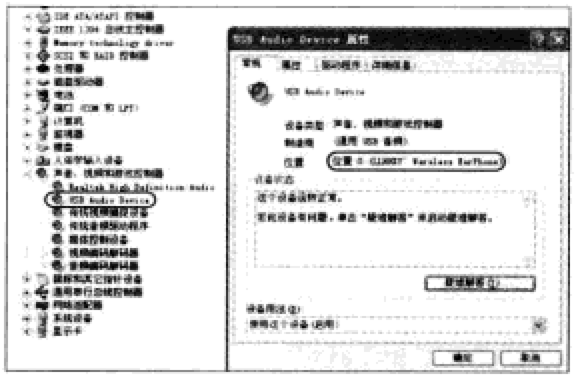


图14 电脑识别

播放功能，采用的是PWM+RC滤波的功能，接上耳机听音乐也挺不错。只是这样一来，F320里面需要完成两个功能，一个是USB声卡数据输出处理，一个是固定采样率的PWM音频输出，如图11所示。两部分都是实时性比较强的功能，USB部分比较慢的也需要1ms处理一次，功能之间需要仔细协调；分开后，两部分由F320与F330分别承担，中间由2.4G模块搭桥牵线，F320时间紧张的现象得到一定的缓解。图12是发射部分的软件流程，图13是接收部分的软件流程。原理也相对容易理解。

下载单片机的程序需要用到C8051的EC5仿真器，这个仿真器现在的价格也已经逐渐回落，大约60元，可以仿真下载C8051F系列的所有单片机。有兴趣的读者可以涉足一下此系列的单片机，例如51增强型，特别是F320和F330，功能还是非常不错的。

使用

使用起来比较简单：发射部分插入电脑，查看电脑控制面板中的语音与音频设备，可以发现原先电脑的声卡已被USB声卡所代替，如图14所示。

这时，你就可以打开播放器播放音乐了，记得打开接收部分的电源，聆听来自不远处传来的动听音乐。用完后记得关闭电源，发射端一直接在电脑上也无妨，不影响下次继续使用。

制作感言

对这款耳机进行一个客观的评价吧，音质还算清晰，不过底噪也不可避免，PWM作为简易的DA输出，加上不算高的音频采样率（16KB），音质当然不能算高保真，不过总体来说表现力还算不错，立体感比较强，得益于全数字的音频传输。因此，之前说的FM的品质还是比较接近的。传输距离，在一个房间内走动还是比较流畅的，距离大概是5m，发射与接收部分之间最好不要有物体阻挡。出了房间，相对来说方向性强一些，只要无线模块之间正对着，10m问题也不大。

有读者考虑此耳机的功耗，发射部分没有测，电脑提供电源，因此不必担心。接收部分用万用表直流电流挡测试了一下，大概22mA，想来那个电池怎么也有100mAh吧，所以，连续使用3~4小时应该不成问题。

有读者发现已经使用某些播放器后，自带声卡被占用而无法切换至我们的USB发射器声卡，这个也比较容易处理，停止播放，然后再开始播放，USB声卡就能正常使用了。如果读者遇到其他的问题或者有好的建议，可以与笔者进行交流。

这两年，我们经常在电视上看到魔术师刘谦表演隔空取物、隔空移物、隔空击物等，既然那么多的“隔空”表演，而且我的作品名字也取叫“魔法瓶”，那么这个“魔”又是怎样的魔法呢？我又会玩些什么“隔空”的招数让你过上一个美好的春天呢？请看下文！

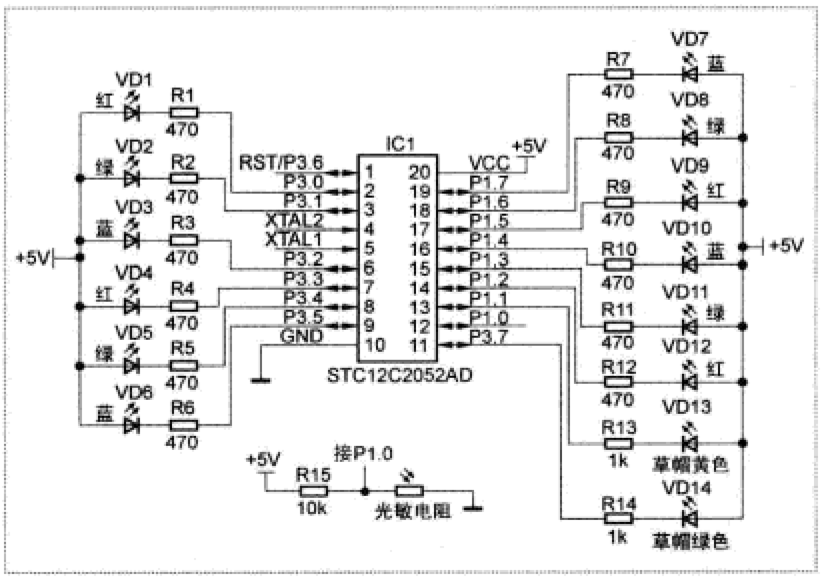
◎伍浩荣

隔空控制——七彩“魔法瓶”

看题图，你可能会想，不就是一个普通的玻璃瓶吗？但是这个瓶子的功能却不简单，瓶子会感知周围光线的强度而改变内部的LED流动花式。当你的手背着光源的位置向前靠近时，口里再喃喃几句“魔法咒语”，神奇的现象出现了，本来的花式突然改变了，时而变蓝，时而变红。当你的手继续靠近时，然后可以关灯，这时瓶子闪烁得更加耀眼，更加激烈了，哇，太神奇了，竟然可以“隔空控制”！如果将此作品放在家里客厅或宿舍，一定会吸引很多客人或同学的眼球，而且可以活跃气氛。

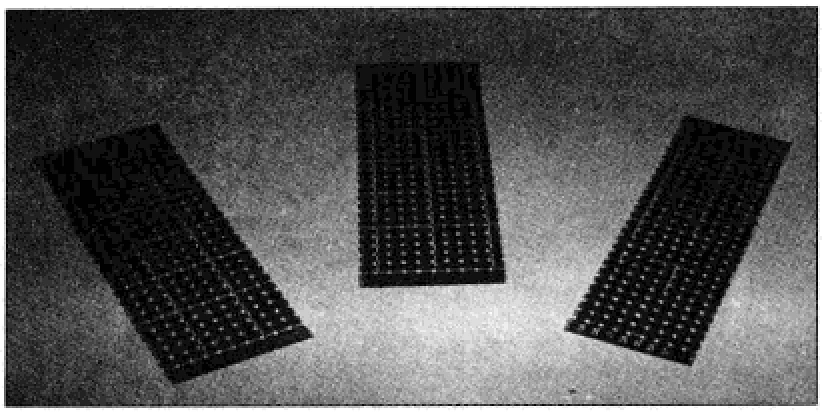
“七彩魔法瓶”的奥秘是运用光敏电阻探测出周围光线的强弱，再根据光度由强到弱分成8个区间，每个区间都有一种不同的LED流动花式，第一个区间（也即是光照最强时）“魔瓶”不断显示红、绿、蓝的颜色，第二到第四个区间分别是显示由红色、绿色和蓝色的3种不同颜色的不同显示主题，不同的颜色能改变人的心情，因此随着主题的改变，心情也改变了；第五个区间（光照较暗时）瓶子会逐渐变化出类似彩虹的七彩颜色，因为红、绿、蓝三原色进行不同的组合就会得到不同的颜色；第六个区间是我们熟悉的流水灯，先由前排逐个流动，然后后排逐个流动；第七个区间是我最喜欢的，先逐渐显示单数和双数排的LED灯，同时，在瓶子内部的黄色和绿色草帽高亮LED灯交替亮起，发射出的光线经过洞洞板和玻璃瓶透射出来，显得特别好看，最后一个区间是光照最暗的时候，内部的高亮LED都亮起，同时左右排的LED灯交替亮，之后全部闪烁，达到最激烈的程度。相信在场观众的心情此时会达到高潮，很有创意吧，下面让我们一起来制作！

电路原理

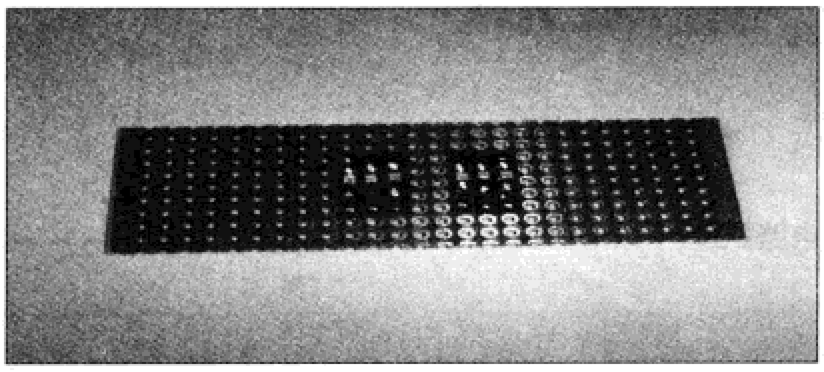


所需器件列表：

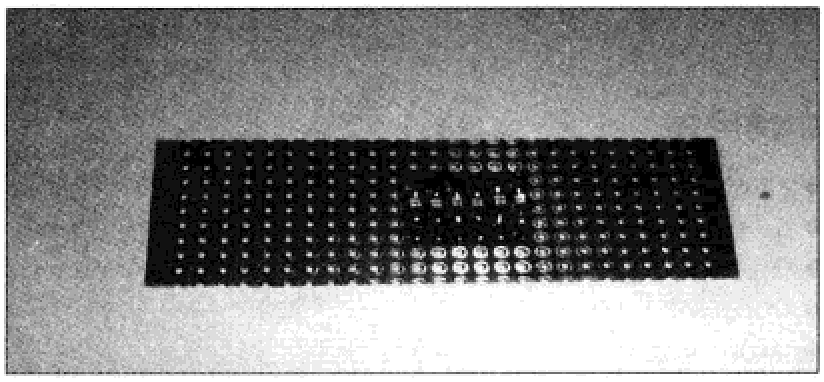
- 20脚的STC12C2052AD单片机1个（或者选用同类有AD功能的单片机）
- 红、绿、蓝贴片LED各4个
- 绿色和黄色的高亮草帽LED各1个
- 470Ω贴片电阻12个
- 1kΩ贴片电阻2个
- 10kΩ贴片电阻1个
- 光敏电阻1个
- 7.5cm×7cm的玻纤洞洞板1块（玻纤板透光效果好）
- 排针若干
- 瓶口大小合适的空玻璃瓶子1个



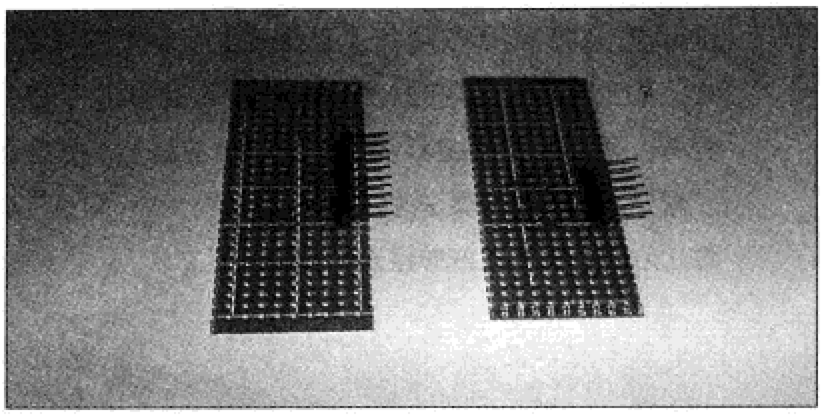
01 用裁刀把7.5cm × 7cm的玻纤洞洞板裁成3块的2.5cm × 7cm大小的形状，玻纤板有一种半透明感，能把内部的光更好地透射出来，显示的效果更加美观。当然，如果材料有限也可以用其他的洞洞板，只不过效果没那么酷罢了。



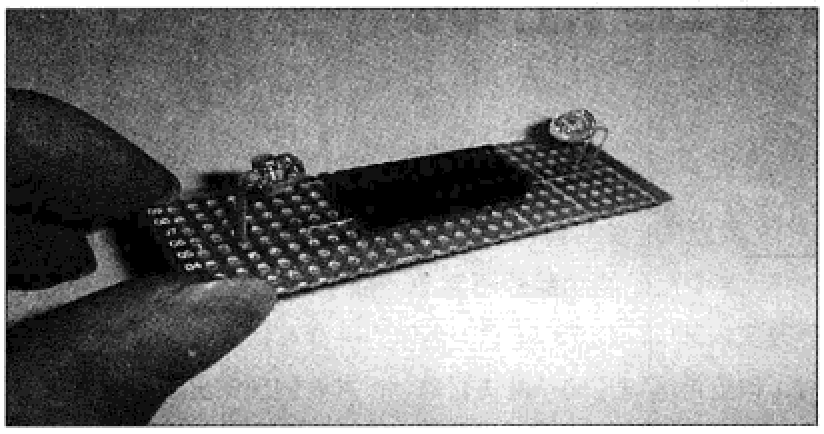
02 然后在其中的一块洞洞板背面分别焊接上贴片LED和470Ω的贴片电阻，此作品要求越小越好，因此元器件都选用了贴片封装以减小体积，LED从左往右的排列为红、绿、蓝、红、绿、蓝（对应单片机的P3.0~P3.5引脚）。为了显示出七彩的效果，一定要按照红、绿、蓝的排列顺序，这三原色能组合出多种不同的颜色。注意要在中间间隔两个焊盘的位置，因为这块板子是放在左边的位置，也就是单片机P3组引脚的一边，为了更好地方便后面的对应焊接，中间跳过晶体振荡器引脚部分而焊接，焊接完成后如图所示。



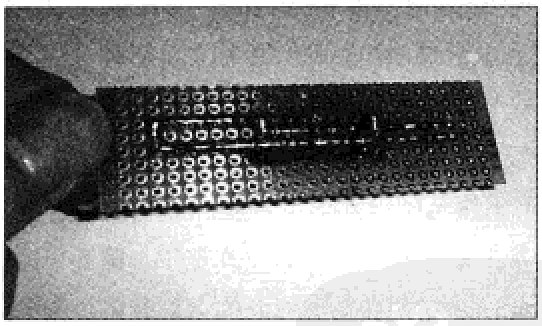
03 在另一块板子，如图所示，连续焊接上贴片LED和470Ω的贴片电阻，此处6个LED灯对应P1.2~P1.7引脚，LED灯按照电路图所示的蓝、绿、红、蓝、绿、红的顺序排列。注意上面两块板子要对应好单片机的引脚位置。



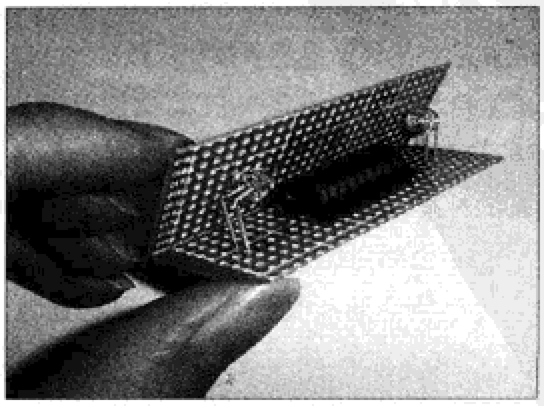
04 分别剪出10针和7针的排针，并且用钳子把其弯曲成120°，如图所示，然后分别焊接在上面两块板子上，10针的对应电路图的左边，7针的对应电路图的右边。注意，要对应好LED灯位置，多出来的排针用于电源之间的连接。



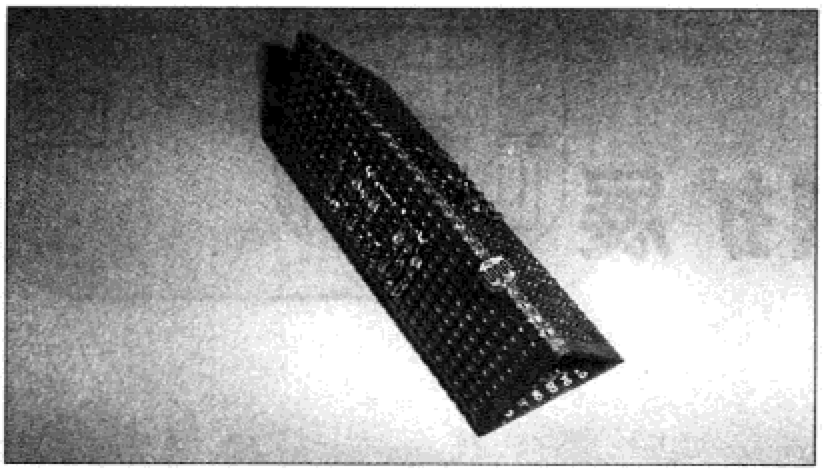
05 在剩下的一块板子上焊接20脚的IC插座，然后把黄、绿两个高亮草帽LED灯的顶部弯曲成90°，如图所示，分别摆放在两端位置，黄、绿两个LED灯的顺序根据个人喜好摆放。



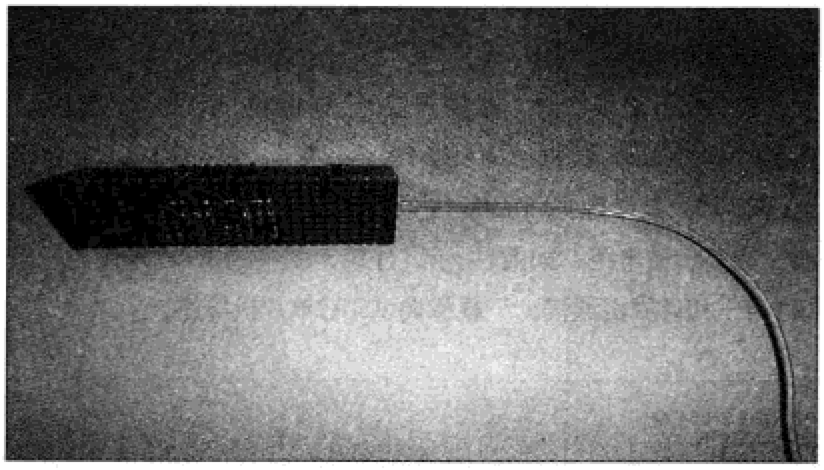
06 在背面焊接上光敏电阻的10kΩ贴片上拉电阻和两个高亮LED的1kΩ限流电阻，焊接完成后如图所示。



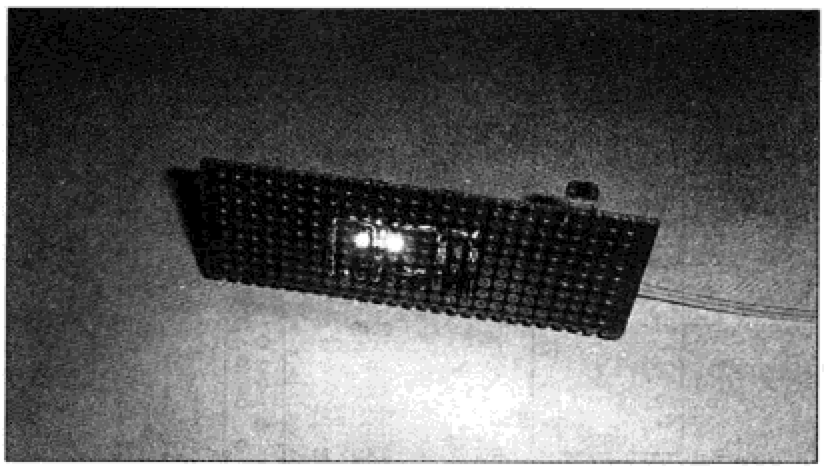
07 把左边部分的板子引出的排针对应好单片机的左边引脚位置，一一对应，注意板子背面朝外，大约弯曲成60°，然后用焊锡焊接固定好。



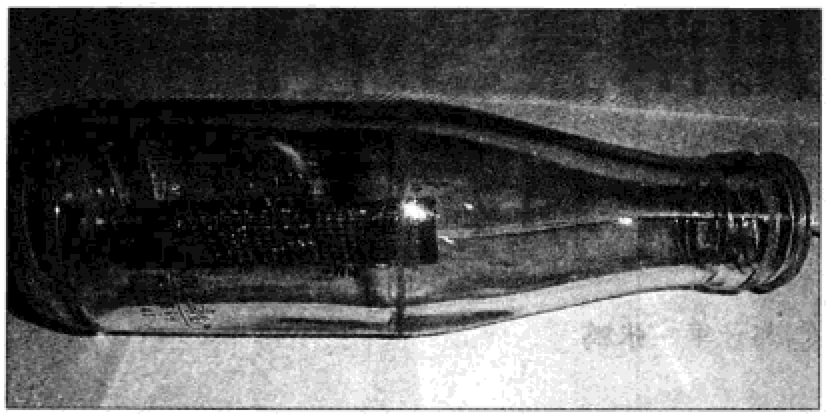
08 再把另一边的板子也按照上一步骤焊接上，也要注意排针对应好单片机的引脚位置，并且把光敏电阻从左边板子穿插进电路板内部，把光敏电阻的两端分别连接在单片机P1.0口和电源负极，这部分完成后如图所示。于是，一个由洞洞板组成的小型“金字塔”就制作完成了。



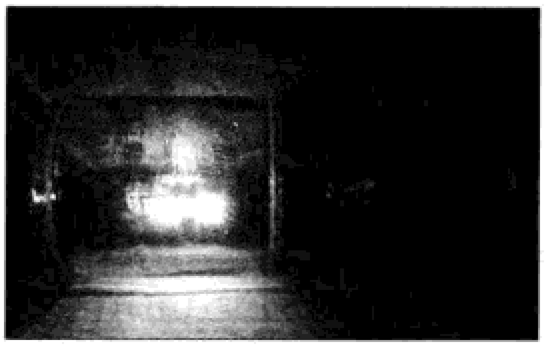
09 用一条大约1m长的两排排线把电源正、负极引出来，如图所示。你也可以多加两条排线把单片机的两个数据口引出来，方便程序的更新，由于我之前已经调试好了程序，因此在这里没有把数据线引出来。



10 接上电源，用手电筒在较暗的地方不断靠近光敏电阻，看看LED灯的花式显示结果是否如自己编写的程序一致，如图所示。



11 调试好程序后，就可以把它放进一个空玻璃瓶子里了，在底面板子的两端边上粘贴上双面胶，然后用镊子轻轻放进瓶子内部，在适合的位置上粘上去固定好，作品就可以宣布完成了，如图所示。电子爱好者也要加强环保意识，尽量利用废弃的物品来完成我们的电子制作，减少垃圾量，做到以废变新，这是一个不错的主意吧！而且LED灯发出的光在玻璃瓶的内壁折射又反射，显示出来的效果会比想象中要好多了！



12 插上电源，把“魔法瓶”放进较暗的地方，立即会显示出更加灿烂的炫彩闪耀效果，你一定会喜欢的。

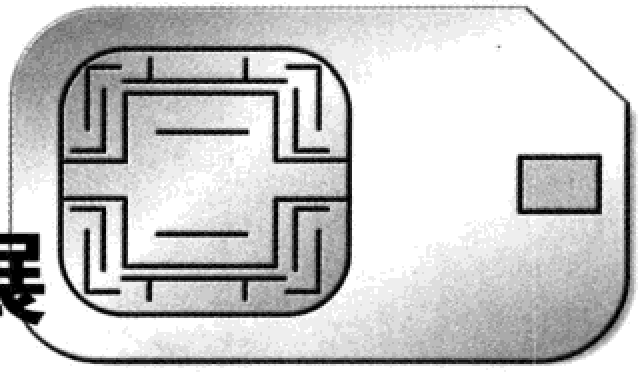
程序部分说明：

本作品最主要的部分是利用STC单片机内部的A/D转换功能，读取光敏电阻的阻值变化，进而控制LED灯的流动花式。STC12C2052AD内部置有8位AD转换功能，读取到的数为0~255的数值，然后把读到的数值分为几个范围区间，每个区间分别显示不同的LED流动花式。这里要注意的是，编写不同范围程序时，不能直接写成如“if(40<m<=60)”，m为读取的数值。这样写程序，编译会通过，但是不会实现相应的功能，正确的写法应该为“if((m>40)&&(m<=60))”。STC单片机的A/D转换程序可以参照STC12C2052AD的数据手册或者从《无线电》网站上下载。还要注意的是，单片机是利用了内部的晶体振荡器，下载时要选上“内部晶振”。

我编写的LED流动花式程序就是上面提到的由亮到暗而变化的不同花式，具体如何编写，你可以参看一下我写的程序。当然你如果不喜欢我的花式，也可以自己编写出不同的花式或者再多分几个区间，让显示的花式种类更多，这些都由读者自己决定吧。

有兴趣的读者赶快制作一个摆放在客厅装饰一下吧，展示您的“魔力”。最后祝大家制作愉快！

用闲置SIM卡作单片机EEPROM扩展



◎郝计军　张鹏

由于交流需要，笔者最近换了手机号，拿着原来的SIM卡，总觉得丢了可惜，可是留着又有什么用呢？突然想到，SIM卡不是能够储存电话号码和短信吗？能不能用它来作单片机系统的EEPROM扩展？这种问题难不倒喜爱动手实践的电子爱好者！经过一番查找资料、电路实验，笔者利用通用的51单片机实现了用闲置SIM卡作EEPROM扩展，兴奋之余不忘做好笔记与各位电子制作爱好者分享这份喜悦。下面就开始我们的DIY旅程吧！

磨刀——SIM卡第一课

让我们先来认识一下SIM卡（指标准卡，关于原卡、小卡只是接口不同，这里不再叙述）。SIM卡是Subscriber Identity Module（客户识别模块）的缩写，也称为智能卡、用户身份识别卡，主要供GSM网络进行客户身份鉴别，管理用户PIN，实现加密算法，当然还能存储用户的电话及短信等相关数据信息。这里我们重点关注电气性能，特别是存储特性。SIM卡内含5个模块，分别为CPU（8位/16位/32位）、程序存储器ROM、工作存储器RAM、数据存储器EEPROM和串行通信单元，它们集成在一块芯片中。市面上SIM卡的存储容量多为32KB、64KB、128KB等，例如中国移动公司的动感地带SIM卡容量为64KB，读者在尝试前需要分辨SIM卡类型。

SIM卡正常工作时，最少需要5个连接线：电源（VCC）、时钟（CLK）、数据I/O（DATA）、复位（RST）、接地端（GND），其中数据I/O和复位分别连接至MCU的P1.0和P1.1引脚，完整测试电路，如图1所示。注意，图中的串口2未使用，串口1用于和计算机通信，下载和调试STC单片机程序。

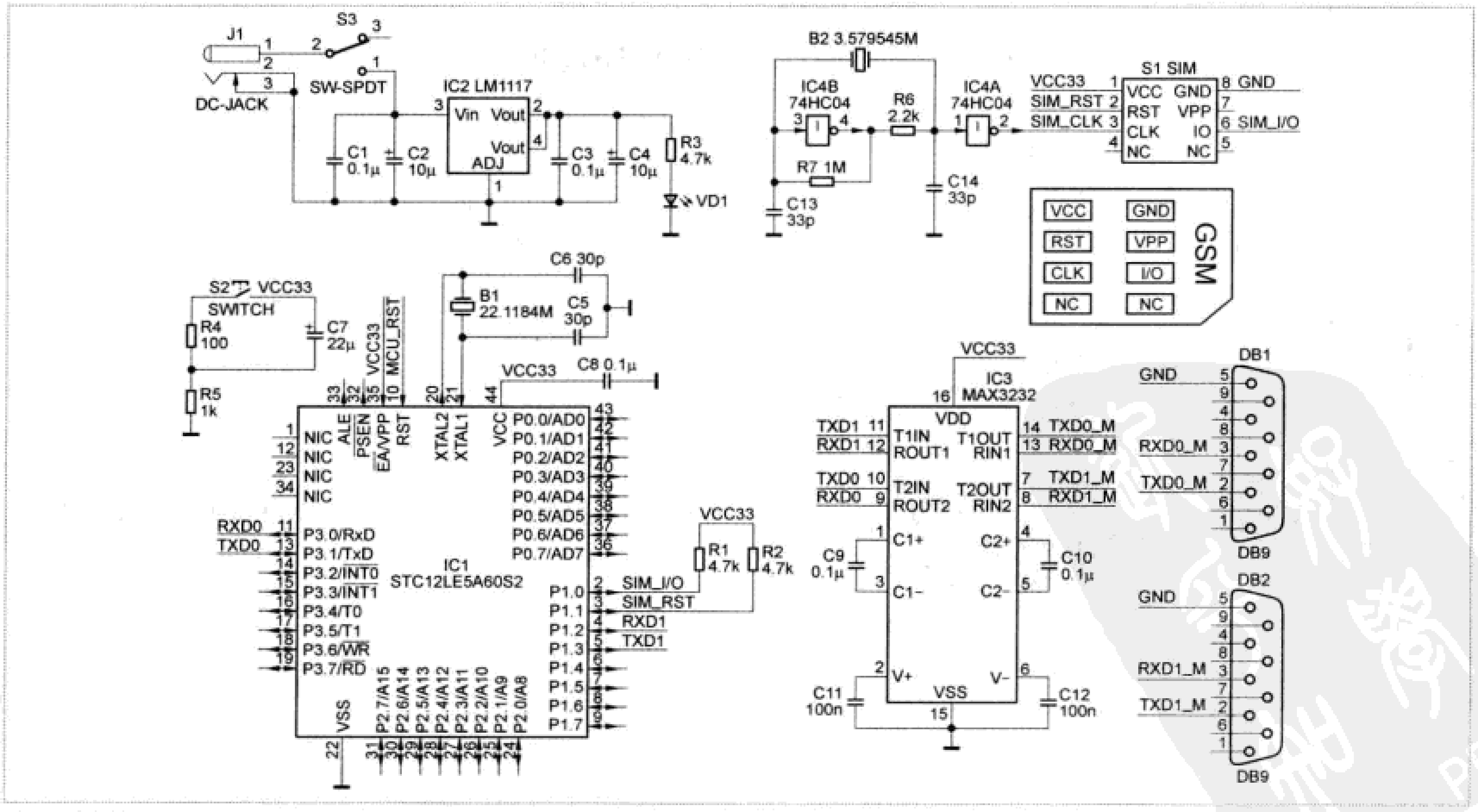


图1 测试电路

砍柴——具体方案实施

MCU选用最新生产的增强51单片机STC12LE5A60S2，3.3V低电压，高速（单时钟/机器周期），双串口，性价比高，能够胜任大部分的单片机小系统开发。虽然网上已有直接使用串口读写SIM卡的例子，但是串口资源毕竟宝贵，同时也为了保持代码的通用性和移植灵活性，最终还是决定使用单片机普通I/O口软件模拟T0协议与SIM卡进行数据交换。通信字符格式，如图2所示。

由公式$etu=F/(D\times f_s)$（其中$F=372$为时钟速率转换因子，$D=1$为比特速率调整因子，$f_s=3.5795MHz$为SIM卡时钟频率）确定软件的基本延时时间。强烈建议使用示波器观测数据I/O口的波形变化，一方面可以验证实际输出和设想的是否一致，另一方面波形观察更加直观，对问题的分析也将更加准确到位。SIM卡复位后先返回一串数据，叫作ATR（Answer To Reset）信号，可以借此首先调试我们的读字节函数。

成功接收ATR后，就该试着向SIM卡写命令，并通过读取回应数据来验证其是否成功。需要提到的是，尽管所有SIM卡都遵照ISO7816协议生产制造，但是读写操作具有一定灵活性，因此不同类型的SIM卡在实际操作时可能会存在一些差别。试着向SIM卡发送各种不同的命令，然后读取返回数据，一来体验初试成功

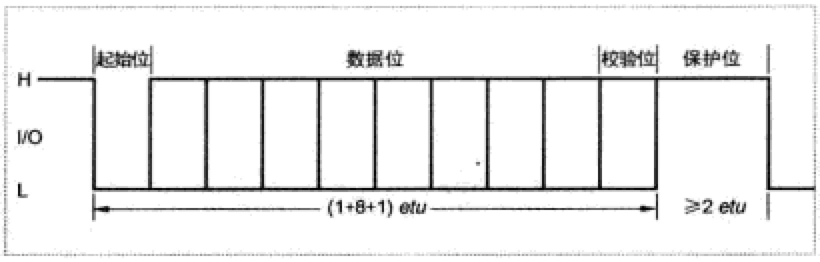


图2 通信字符格式

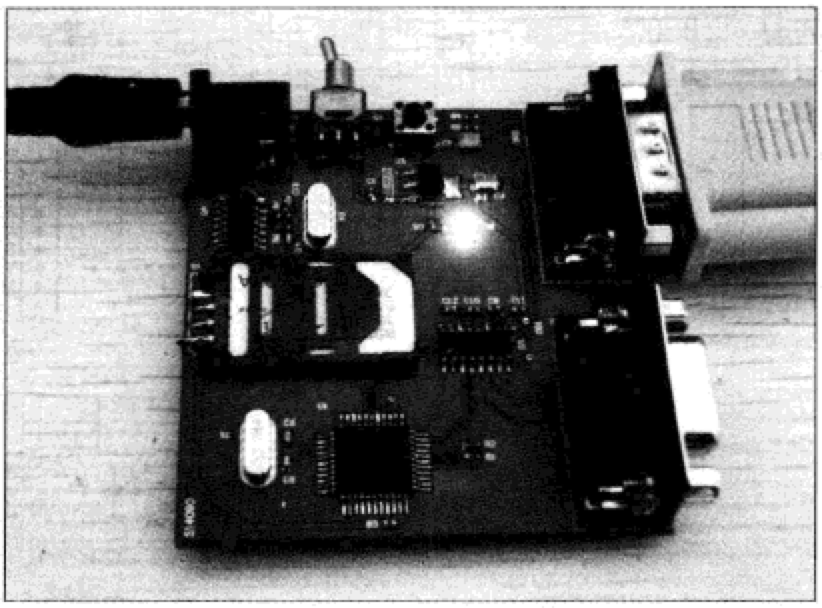


图3 制作完成的实物

```
void read_SIM_6F3A（uchar blocknum） //参数为6F3A文件记录号，取值1-250
{
    tmp[0]=0x7F;
    tmp[1]=0x10;
    command（0xA0，0xA4，0x00，0x00，0x02，0x22）；//选择6F3A的上层文件7F10
    tmp[0]=0x6F;
    tmp[1]=0x3A;
    command（0xA0，0xA4，0x00，0x00，0x02，0x22）；//选择文件6F3A
    command（0xA0，0xB2，blocknum，0x04，0x1C，0x10）；//读取记录数据
}
void write_SIM_6F3A（uchar blocknum） //参数为6F3A文件记录号，取值1-250
{
    tmp[0]=0x7F;
    tmp[1]=0x10;
    command（0xA0，0xA4，0x00，0x00，0x02，0x22）；//选择6F3A的上层文件7F10
    tmp[0]=0x6F;
    tmp[1]=0x3A;
    command（0xA0，0xA4，0x00，0x00，0x02，0x22）；//选择文件6F3A
    command（0xA0，0xDC，blocknum，0x04，0x1C，0x21）；//更新记录数据
}
void main（）
{
    uchar j;
    Uart_Init（）；//串口初始化，9600波特率
    SIM_Init（）；//SIM卡初始化
    for（j=1;j<=16;j++） //初始化1-16号记录数据
    {
        for（i=0;i<28;i++）buf[i]=j;
        write_SIM_6F3A（j）；
    }
    for（j=1;j<=16;j++） //读取1-16号记录数据并发送至计算机串口调试终端
    {
        read_SIM_6F3A（j）；
        for（i=0;i<28;i++）SendChar（buf[i]）；
    }
    while（1）；
}
```

的喜悦，二来熟悉SIM卡的命令特点和文件结构。

SIM卡的应用数据组织存储在不同层次、不同类型的各种文件中。首先发送SELECT命令逐层选择所要操作的文件，在满足一定操作条件的情况下，方可通过READ或UPDATE命令进行数据读写。以文件6F3A（内部文件标识号）为例，在GSM应用中用于存储客户的电话簿信息，包含250条记录，每条记录为28字节。笔者将6F3A文件数据读写的操作封装为函数read_SIM_6F3A（）和write_SIM_6F3A （），方便在主程序中作为EEPROM扩展的子模块直接调用。以下是读写函数和测试函数示例代码。

至此，EEPROM 扩展的全部软硬件设计全部完工。在上面的测试函数中，初始化 1~16 号记录数据并重新读取发送至计算机串口调试终端，对 EEPROM 数据读写操作进行验证。根据 SIM 卡在数据组织和安全管理方面的特点，此 EEPROM 扩展，结构化特征明显，操作周期长，适合存储记录类型数据。当然，如果喜欢，还可以像手机一样，设置PIN 密码，对存储数据安全进行控制。制作实物如图 3 所示，完整测试程序请到《无线电》网站下载。

后记

本文重在与大家分享笔者的一次探索。SIM卡作EEPROM扩展虽有一定的局限性，但作为一名“资深”的电子爱好者，发掘潜在价值，达到“废物利用”的目的，拓展知识面，这种尝试何乐而不为。在此也祝愿各位读者多多发现，多多思考，必能够在电子世界中体会到我们独有的DIY乐趣！

用洞洞板走进Arduino之门

◎卫小鲁

《无线电》杂志2010年刊登了不少关于Arduino装置的文章，使得大家对这个洋玩意儿有了不少认识。据说它可以做交互式系统，能人所不能。在这些文章的启发之下，我也手痒难耐，决心亲自动手实践，体验其中的乐趣。好在自己对AVR单片机有所了解，也用它先后制作了相关作品，玩Arduino应该没有问题，不是说“完全不会硬件的人也能把它玩得非常顺畅吗”？那我这个使惯了起子烙铁的，就更加不在话下了。不管怎么说，总要试试吧。于是，先搜集资料，到有关“DUINO”的网站上转一圈，资料还真不少，原来Arduino是开源的，谁都可以做。再看看，型号还不少，名字都很古怪，不过大体来说，不算mini型的，就两类，一类（也是大多数）是通过USB接口和电脑通信，另一类是使用232串口电路，MPU都是AVR单片机，从ATMEGA8、168、328到1008基本架构都差不多。除了USB部分以外，它使用的都是普通元件。考虑到材料易得、制作简易、特别要适合洞洞板的条件，决定按照使用串口的“Freeduino”v1.2版原理图，并按自己要求作了些“画蛇添足”的修改，结果如图1所示，就按此来制作。下面来说说这个电路。

电路

从图1可以看出，这不就是带232串

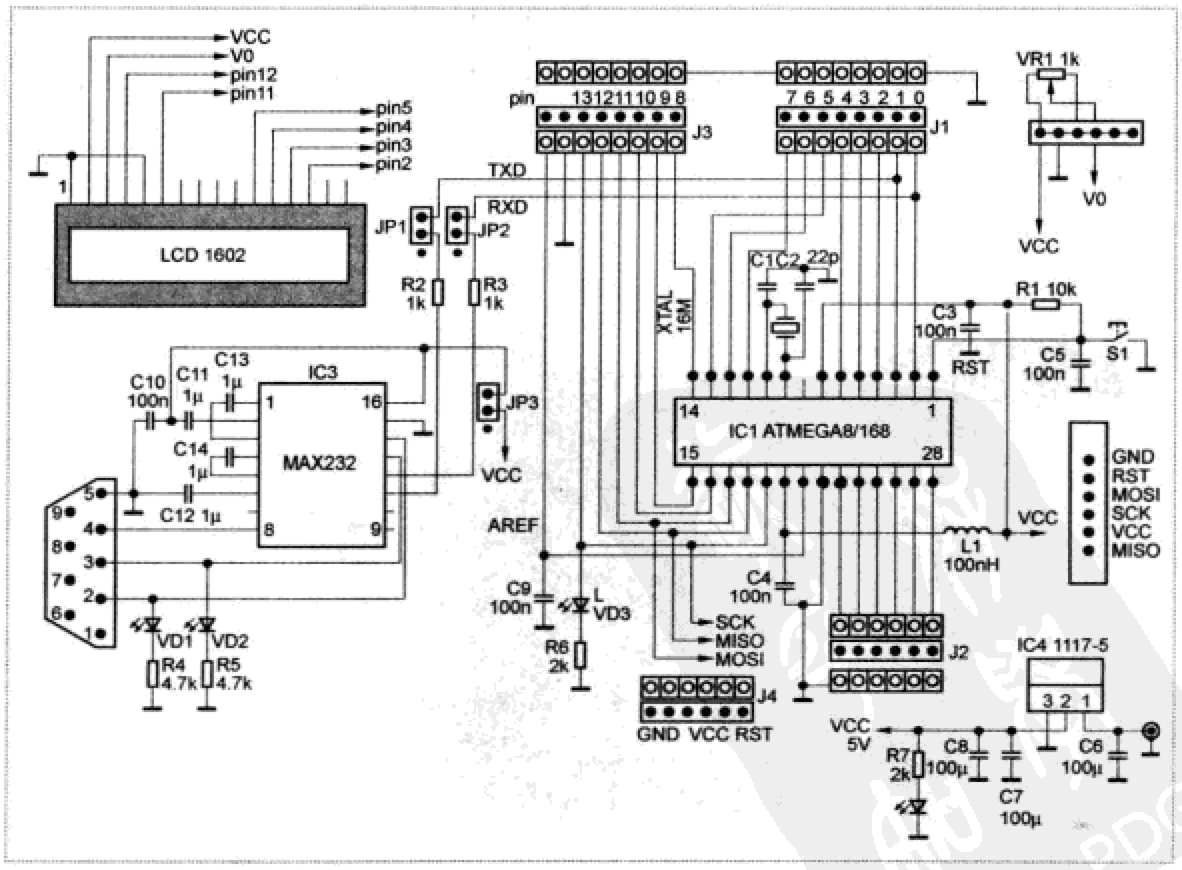


图1 电路原理图

口的AVR单片机吗？没错，它的核心还是AVR单片机Atmega8（或16KB FLASH的Atmega168）。左边的是MAX232，其功能是实现232串口信号和Atmega8的UART信号的转换，以便单片机和上位机——电脑通信，在程序调试阶段上传下载。不过目前，只是在旧式电脑中还能找到232串口，新式电脑全部都是功能强大的USB接口。为了用这个电路，难道你还要专找旧电脑吗？其实不用，目前市场上早就有了USB转串口线，价钱不高，买一条不就解决问题了！否则，往普通洞洞板上装贴片IC很麻烦。图中跳线块JP1、JP2、JP3用于接上或者分离与MAX232的连接，这样便于把这个板子用于AVR单片机的其他开发试验。

单片机的接法就没有什么特殊了，注意I/O引脚全部引到插针排座上，其中J1连接PORTD口，主要用作数字输出；J3连接PORTB口，除了数字输出外，着重是PWM输出；J2则和PORTC口相连，用作模拟量输入。Arduino的功能就是靠这3排插针座取得。J1和J3的具体引出位置用pin0~pin13表示，其中pin13就是单片机的PB5口，并固定接有发光二极管VD3（Arduino标号为L）和限流电阻，用于程序测试，就不必外接发光二极管了。

另外图1右上方加有一个插针排，用于提供1602液晶屏的电源和对比度控制V0，液晶屏的数据线和控制线接到pin2~pin5，pin11，pin12各点（这是根据程序要求，不得随意）。1kΩ电位器VR1用于液晶屏对比度控制，不用液晶屏时，也可提供可调的模拟电压。这些都是原图没有的。

Arduino的这块电路板叫做I/O板，在实际应用中，除了直接用导线从它的排座孔引出信号外，主要是靠扩展的功能模块直接插在I/O板排座上，形成层叠式结构，所以这几个排座之间的距离不可任意为之。

电源比较简单，通过低压稳压集成电路1117-5把外部输入7.5V稳压为5V，通过J2左边的电源排座J4可以引出到扩展板上。虽然直接用USB的5V供电也是可以的，但考虑到这是个试验用板，还是直接从外部供电为好，以防万一不慎损坏USB。

元件和制作

底板：用的一块10cm×10cm的环氧万用板，1.5mm厚，质量很好。比正规Arduino产品大些，但自己用也就无所谓了。它上面预先在一侧开好了电源座和232的9孔D型座的焊孔，方便不少。

排针座 J1、J2、J3 和电源座 J4：用一条有 40 孔的成品截断使用。排座引脚最好是镀金的，焊接时保持它和底板垂直。

单片机：直插式用插座安装。如果是Atmega8单片机，就用Atmega8-16PU的，不要用Atmega8L的。如果是Atmega168，那就用Atmega168-20PU的，不要用Atmega168V，因为现在使用16MHz频率工作，带L和带V的频率较低，只能在10MHz工作，新产品Atmega8A-PU应该没有问题。

MAX232：也是直插式用插座安装。

16MHz石英晶体剪掉一段引脚后用小型螺丝端子压紧安装，这样就能在不需要时把它去掉，使用单片机的内部振荡，使这个板子在不做Arduino应用时也可以做AVR单片机开发用。MAX232的电容用小型直插式，其余电容用贴片式。所有电阻都用的贴片式，贴片元件都焊在反面。稳压集成电路1117-5焊在电路板反面，用薄铁皮（紫铜皮最好）剪个小散热片焊上。

考虑到板子较大，把J1、J2、J3并联上排针，以便使用“杜邦线”。还增加了对应的接地排座。这样一般做实验就不用另加面包板了。注意J2和J1的距离为1.9英寸。

花了一天功夫，焊装完成。实物正面如图2所示。

完工后必须仔细检查，确保无短路和断路，不插集成电路空板送电，各电源点电压正常再进行下一步。

安装编程平台

如果没有配套的编程平台或环境，这个板子也就是个带232串口的AVR单片

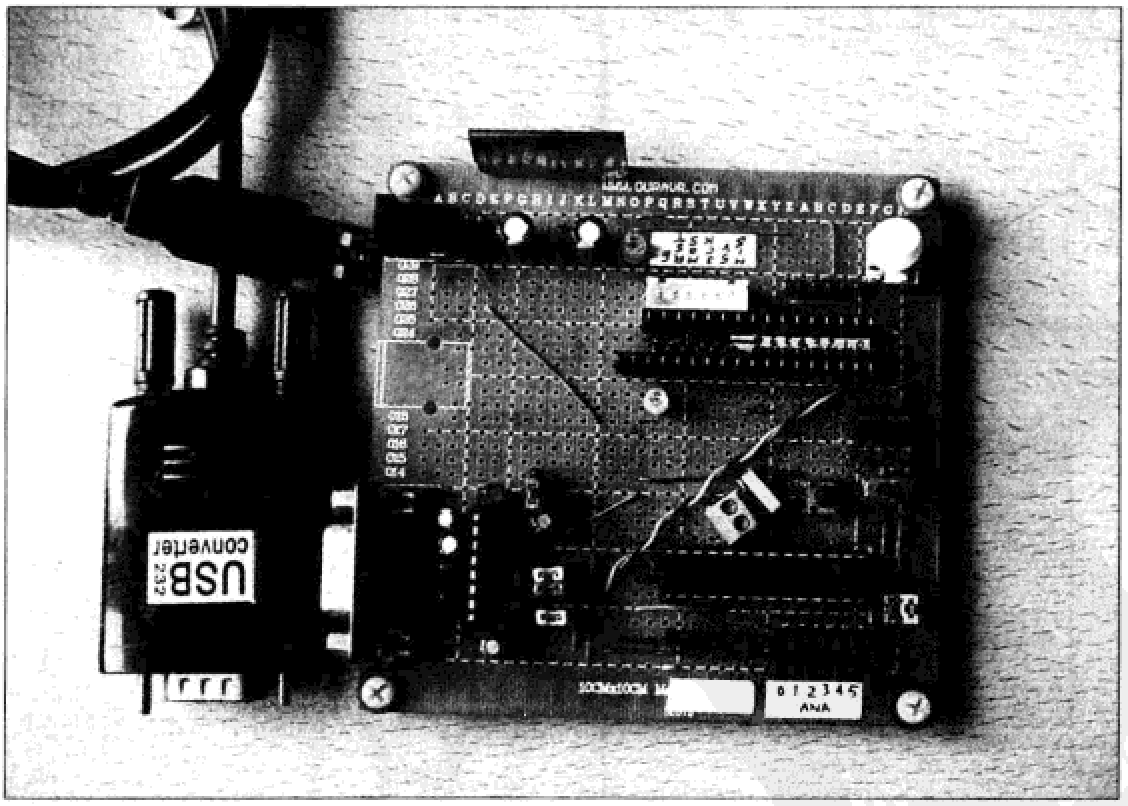


图2 焊接完成的实物图（正面）

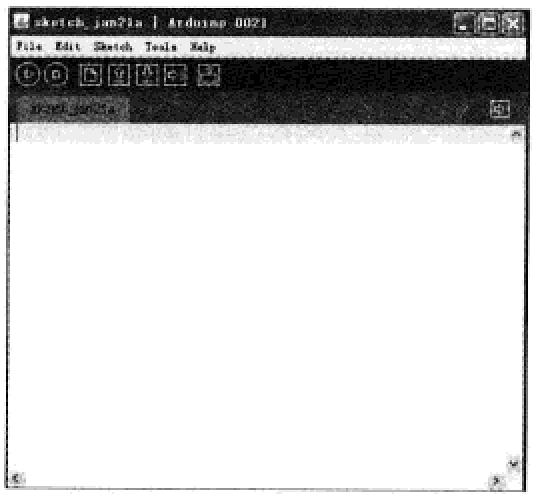


图3 编程平台

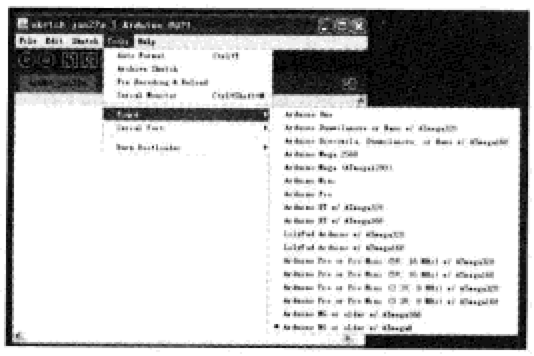


图4 选择型号

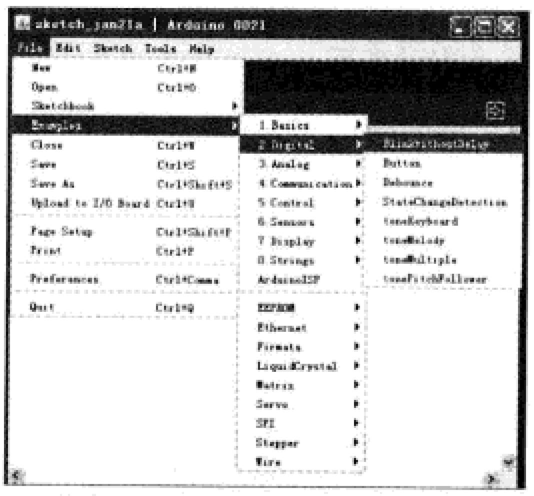


图5 选择程序实例

图6 相关程序

机，并无新奇之处。要它依照“DUINO”的方式跑起来，就得在电脑中安装所必需的Arduino软件（软件来源是Arduino的官方网站：www.Arduino.cc/en/Main/Software/）。笔者选择下载2010年10月2日发布的0021版（软件最新是0022版），然后根据使用的操作系统选择合适的版本。该软件最大的优点除了免费外还是绿色的，下载完后解压（例如解压到D:\Arduino-0021），无需一大堆安装就能直接使用。不过在使用前还有一个关键的步骤就是要给单片机烧入引导程序。

烧入引导程序

因为DUINO的特点，它一上来就要和电脑通信，通过串口上传和下载，因此必须在通电以后先自动完成这一步，才能继续往下走。因此事先必须在单片机FLASH的引导区中固化引导程序，英文是bootloader。这个程序还与芯片和I/O板型号有关，不是随便抓一个就行的。假如Arduino程序在D盘安装，那么解压以后，可以在D:\Arduino-0021\hardware\Arduino\bootloaders\中进一步去搜查所需的bootloader。例如我现在用Atmega8，那就放在文件夹Atmega8里面。板子上已经留有下载口，利用自做的并口下载线和原先一直在使用的ponyprog2000下载软件很快就可以烧好引导程序。

怎么证明引导程序已经烧好了呢？很简单，如果Atmega8是个裸片，那么加上电源后VD3不会有反应，当引导程序烧好后，则过一会VD3就会以比较慢的频率不停地闪亮。

对于经常鼓捣AVR单片机的人，做这个不过是小菜一碟，不过对于初学者，就需要准备下载线、下载软件等工具，而且这些东西也不是经常用，干脆买套件更省心。虽然在Arduino里面好像也能通过串口预装引导程序，但是不知何故笔者试了几次没有成功。

如果你用的是带串口的老式电脑，那就可以准备使用了。但是新式电脑是没有串口只有USB接口，那还得费点手脚。

安装USB转串口线的驱动

卖转接线的商家一般都会提供驱动程序光盘，按照光盘说明安装驱动就是了。安装后假如你的电脑没有串口，那么会增加一个虚拟串口COM4或COM5，如果原来有串口COM1，则增加一个虚拟串口COM3，以下就使用这个USB线来工作。

试跑Arduino

在刚才解压的D:\Arduino-0021文件夹中找到应用程序Arduino，双击打开，计算机桌面上会显示出编程平台，如图3所示。Arduino把程序叫做sketch。

展开Tools项，把Serial Port 展开可见能够使用的串口号，加以勾选。

把Board项展开，可见I/O板型号选择，选最下面的Arduino NG or older w/ ATmega8，如图4所示。

板子插上电源，把USB转串口线一头插上电脑，另一头插上板子。通信指示灯VD1、VD2闪亮一下，VD3闪亮数次。

我们可以从程序附带的大量例子开始试验，最简单的还是从闪光灯起跑吧。选File→Examples→2.Digital→BlinkWithoutDelay，如图5所示。接着弹出一个程序副本，整个sketch就在主窗口中，如图6所示。图6英文中，从/*到 */都是说明部分，意思是接在数字口上的发光管的亮灭不使用延时函数，这意味着可以同时运行其他代码而不会被LED代码打断，以及LED是接在板子的pin13等。

从本质来说，编程方式还是和C语言差不多，最前面是头文件包含，然后是常量、变量定义，再就是设置函数void setup()，功能是进行一些设置、变量初始化、引脚模式等，它只在程序开始时运行一次。后面是主循环void loop()，需要反复执行的主要工作都在这里面。实际

图7 编译程序

图8 编译完成后

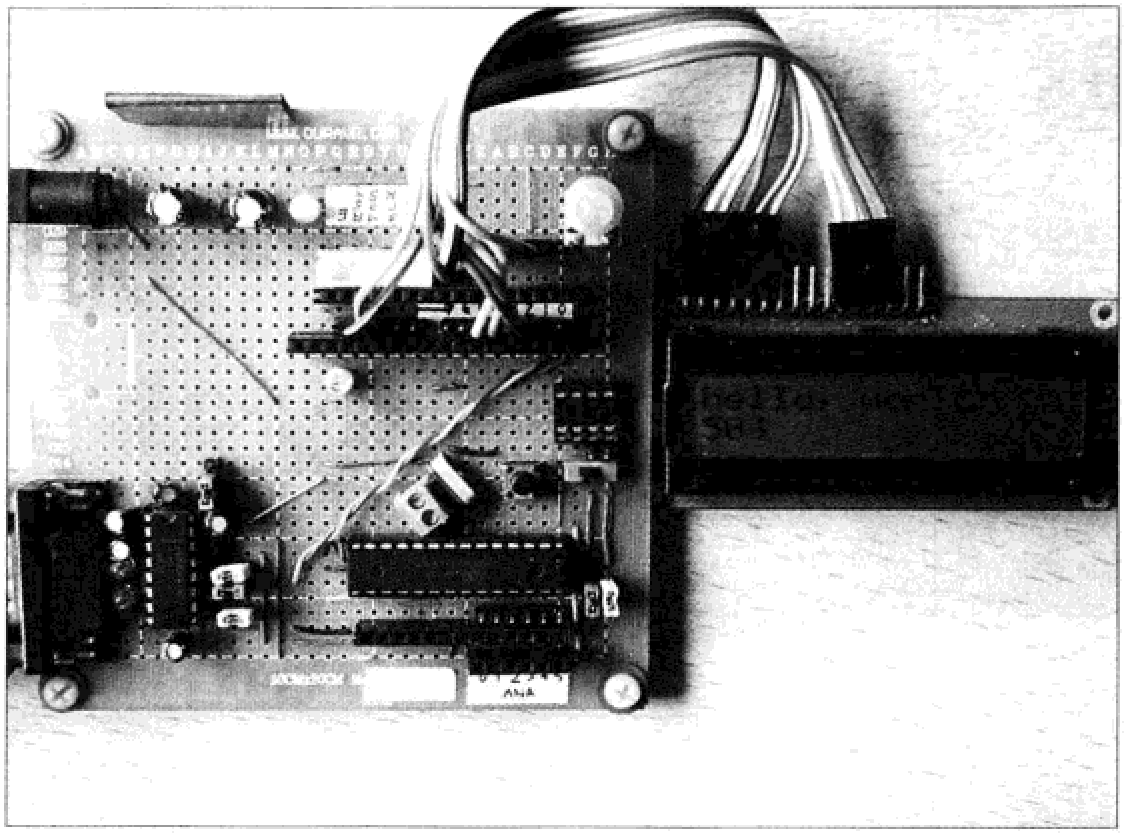


图9 液晶显示字符

上就是把标准C中必需的int main()分成了两部分，一部分是while(1){}之前的，等于setup()，另一部分是while(1){}里面的，等于loop(){}，不过这里有很多函数已经做好，以便随时取用。

先不研究这些差别，怎么让这个程序在I/O板上跑起来呢？按要求，先要让它生成可执行代码：点击最左面那个中间有个三角的圆圈，它会变成黄色，开始编译，如图7所示。等一会，黄色消失，下边提示黑框内会提示：Binary sketch size:778 bytes，如图8所示。这说明编译后的二进制可执行代码是778B。好，可以运行了。点击中间有指向右边箭头的方框，它变为黄的，开始准备往I/O板下载上述代码并启动运行。等待数十秒，中间I/O板上串口指示灯会交替闪亮数秒，等一会儿，提示框上方会指示：Done uploading，好了！再过一会L灯开始以大约亮1秒、暗1秒的频率不停地亮、灭，成功了。现在，把串口拔掉，电源停掉，I/O板和电脑脱离，再上电，不一会儿，L灯会同样亮、灭起来，说明程序已经固化到单片机的FLASH中了。

如果在sketch中修改变量interval的赋值，例如把原有的1000改成200，也就是把long interval=1000改成long interval=200，再编译运行，会发现L灯闪动频率提高了很多。可以把修改后的程序保存到电脑上另一个自己建立的文件夹中，以后也可以把它调入重新编辑修改。

试试字符液晶

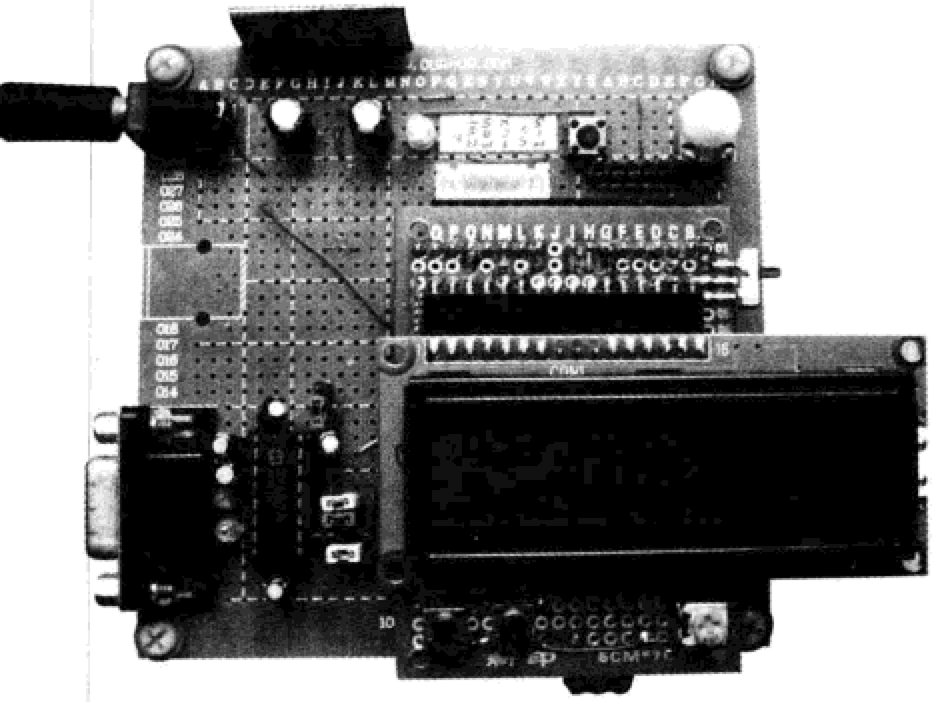
从以上实验可以发现，Arduino的确能够让不了解AVR硬件的人也能够玩起AVR，那些麻烦的端口设置，芯片初始化等在这里都不需要了。实际上这些操作硬件的手段都被Arduino仔细包装了起来，由它替我们来操作，类似于通过操作系统控制电脑，你只要会点鼠标就行了，不必管CPU的引脚如何。

AVR单片机也有比较复杂的应用，例如字符型液晶显示器LCD1602的编程，又要写各种控制函数，又要写初始化函数，弄不好忙乎半天还是啥都看不见，但是，这个就不同了，它有现成的例子。我们看看：打开File→Examples→LiquidCrystal→HelloWorld，就是一个让1602液晶显示HelloWorld的程序，液晶的接线必须按图1所示进行连接，这也是程序的要求，注意液晶的R/W线接地使它总是在写状态。程序同样很简单，把它编译后下载运行，液晶第一行就显示HelloWorld，第二行显示计秒，如图9所示，比用AVR直接编程省事多了。

再补一句

由于Arduino开源的特征，使它的入门门槛大大降低，确实可以做到不会硬件、不会AVR也能进行微控制。大家都可以根据自己的条件来使用这个系统。当然，这不等于说不费吹灰之力就能把它用好、用活，要真正学好任何一件事物都是要下功夫的。

以上制作对于完全不会玩硬件的人来说还是有一定的难度，好在目前市场上的成品套件也很多，购买一套非常实用的套件，可以方便学习。



◎卫小鲁

用洞洞板做一个Arduino简易数字钟扩展板

笔者在上一期自制的Arduino I/O板的基础上制作了简易数字钟扩展板，这样您就可以看到Arduino I/O板易于应用的优点。此扩展板能够显示和调整时间和日期，即使断电，计时也不受影响。本次制作可进一步向读者展现Arduino的魅力，作品外观见题图。

此扩展板的电路原理图如图1所示，制作所需元件及其作用见表1。

当扩展板插上I/O板，插针排J1、J3、电源插针J4和I/O板的排针座J1、J3、电源座连接后，相关元件引脚或信号端和Arduino 数字I/O编号对应如表2所示。

液晶的5脚R/W直接接地，使1602只写不读，数据采用4线接法。

之所以这样对应连接，主要是考虑接线较多的液晶安装方便，由于Arduino的灵活性，只要在编程中设定即可。如果用单片机直接控制，DB4~DB7引脚一定要和某个单片机P口的高4位或低4位一一对应。由此可以明显看出，Arduino要方便很多。

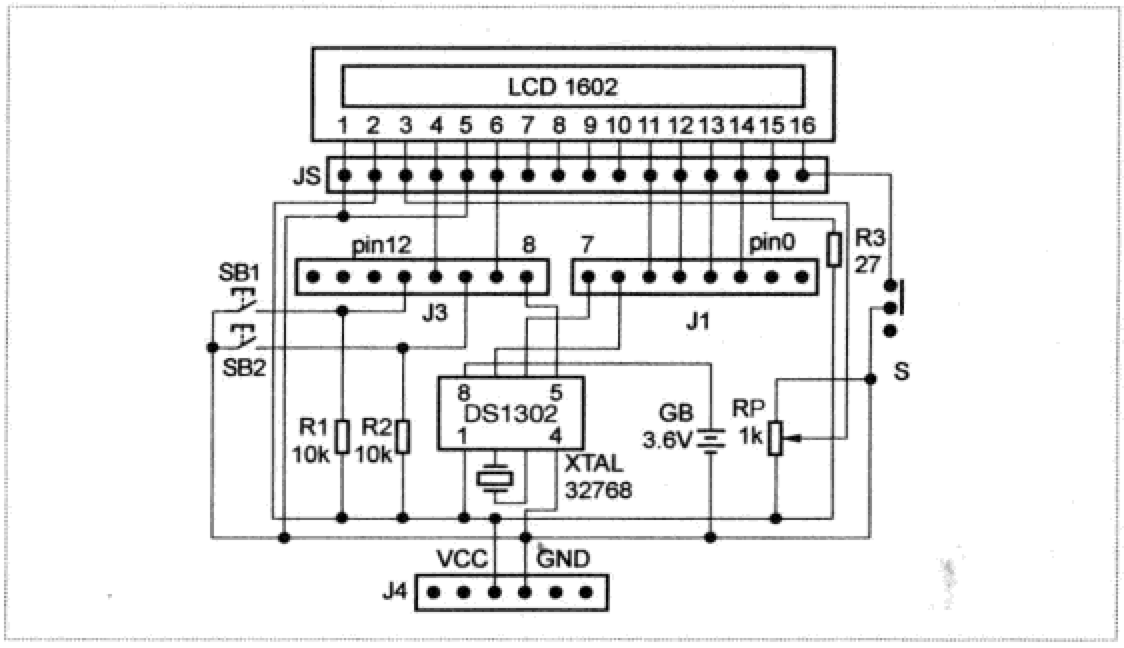


图1 扩展板电路图

表1

- ◆ 5cm×7cm洞洞板——因为要使用插针和Arduino主板连接，必须将焊盘面朝上安装
- ◆ 5V 1602字符液晶模块——颜色不限，焊上90°弯排针
- ◆ 实时时钟芯片DS1302——用来计时
- ◆ 轻触按键SB1、SB2——用来调校时间
- ◆ 微型拨动开关S——液晶背光开关
- ◆ 1kΩ小型可调电阻RP——控制液晶对比度
- ◆ 3V后备电池——小纽扣锂电池或微型镍氢电池GB（3.6V）
- ◆ 32768晶体XTAL——最好使用负载电容6pF，5×10^{-6}，那样走时误差很小，不过，其他晶体也可以使用
- ◆ 10kΩ电阻R1、R2——引线或贴片电阻，用作数字输入脚上拉电阻
- ◆ 16孔插座条JS——从40孔2.54mm弯脚排针座截取，用来插接液晶模块
- ◆ 插针条J1、J3——均为8针脚，对应I/O板的排针座J1、J3
- ◆ 插针条J4——6针引脚，对准I/O板的电源排针座

即使不使用DS1302实时时钟芯片，利用定时器2中断也能构成一个比较精准的电子钟，插入芯片，功能就更大了，可以显示日历，还不怕断电。当然两种情况的程序是不一样的（Arduino还有其他几种电子钟，这里就不一一介绍了）。

SB1、SB2是时间调校按键，用来调整时、分、秒数值以及启动计时。这两个按键分别接有10kΩ上拉电阻R1、R2，并通过插针排和I/O板的pin12、pin10相接，按键属于“数字量输入”。注意在Arduino的应用中，输入端被设置为不带上拉电阻，因此对于接地按键必须加入外部上拉电阻，按键断开时，相应的引脚为高电位，按键闭合时相应的引脚为低电位。

整个电路十分简单，不过硬件越简单的东西，除非功能简单，否则程序就不一定简单。

制作要点

1. 因为要固定插针排J1、J3和电源插针J4，所以洞洞板的焊盘面必须朝上安装。

2. 为了使J1、J3、J4与I/O板对应插座配合。可把它们先插在I/O板对应的排针座上，再把扩展板焊接到排针上。

3. 用于液晶的90°弯排针座安装在洞洞板焊盘面，其他元件安装在空余位置DS1302和插座安装在扩展板无焊盘面，因为扩展板插好后它是向下的，要注意选择适当的安装位置。装好后的状态如图2、图3所示。

完工后，仔细检查。先不插上液晶模块，把空板插在I/O板上，通电测试电源是否正确，排除短路、断线情况。因为元件很少，安装还是比较容易的。

编程

硬件虽然可以快速搞定，但是使用Arduino的关键还是编程。在上一期杂志里提到，Arduino的程序是基于C/C++开发的，但别被这个吓住，其实使用并不困难。它在编程中通过使用现成的类库，使大家不再忙于编写最底层的控制程序，大大方便了应用。除了基本的函数外，涉及具体器件和功能的类库还在不断地被开发出来，使得Arduino的功能也越来越强。

在制作数字钟时，其实也就是解决3个问题：

1. 怎样得到误差尽量小的秒信号？

2. 怎样进行时、分、秒的手动设置？

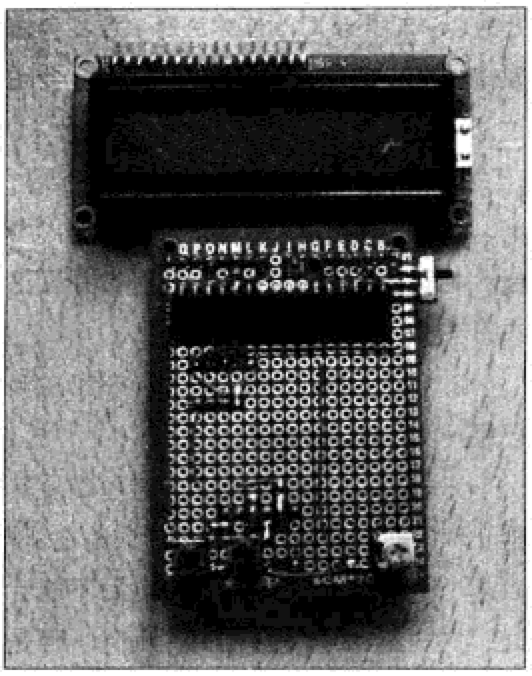


图2 扩展板焊盘面

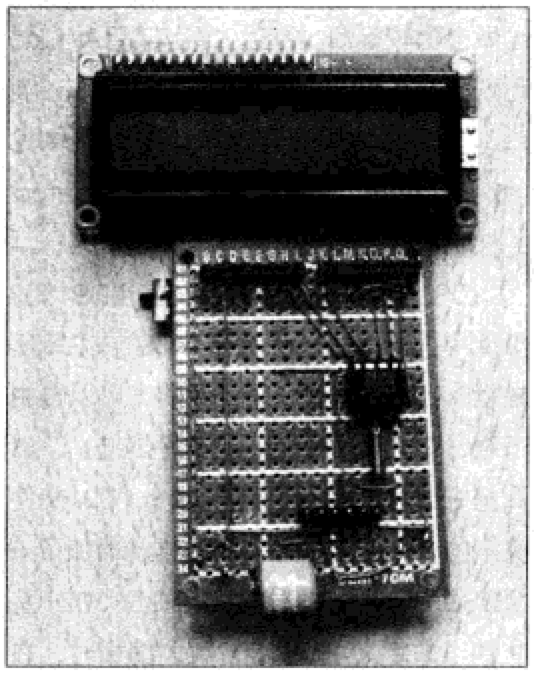


图3 扩展板无焊盘面

表2

元件	引脚	Arduino数字I/O编号
LCD1602	1：VSS	地GND
	2：VDD	电源正VCC
	3：VO	
	4：RS	pin 11
	5：R/W	GND
	6：E	pin 9
	7~10不用	
	11：DB4	pin 5
	12：DB5	pin 4
	13：DB6	pin 3
	14：DB7	pin 2
SB1		pin 12
SB2		pin 10
DS1302	5：CE	pin 8
	6：IO	pin 7
	7：SCLK	pin 6

3. 怎样显示时间？

在上一期的制作例子中，连接在pin13上的LED按照亮1s、暗1s的频率闪亮，这是使用了Arduino的一个函数millis( )，它的返回值是从运行程序起始到当前所经过的时间（单位以ms计），它一直记下去，直到溢出，需要50天。

如果先后取得两次函数值：t1=millis( )和t2=millis( )，则它们的差值就是两次取值之间经过的时间（ms），那么t2－t1等于1000ms，就是1s。闪灯就是用这个办法来达到秒时间的，不过这个在短时间计时

还可以，如果长时间连续计时，误差会积累得很大，有1/1000的误差，一天就会超过1分钟，所以不能用这个办法。

这里还有两个方法来解决计时问题：

1. 使用Arduino的TIMER2定时器2中断，相关的函数在2008年已经被开发出来。

2. 使用时钟芯片DS1302，在2010年已经开发出对应的类库。

方法1简单也比较准确，也不需要其他元件。实际试验结果是，日误差在3秒以内，可以接受，缺点是停电后不能计时。方法2虽然只是多了几个元件，但是要在Arduino上顺畅地和DS1302配合（还要引脚能够自由设置）却不简单，要是自己做会比较麻烦。不过2010年6月Arduino论坛的高手doc_norwey开发出DS1302类库，使这个问题变得比较简单（具体见http://www.henningkarlsen.com/electronics/a_l_ds1302.php）。

DS1302的编程的重点是使用DS1302类库中的函数。首先去下载DS1302库压缩包DS1302.rar（它是开源的，可以自由下载，下载地址见上一段末尾链接），然后把它解压到编程工具Arduino 0021文件夹下的libraries文件夹中，这样就增加了一个DS1302文件夹，在其中的DS1302.h头文件里面定义了DS1302类。编程时，在sketch头部加上#include <ds1302.h>，然后就可以在程序中通过这个类的一个实例rtc使用相关函数了（就是DS1302类的公有成员函数）。相关函数主要有：

◆ DS1302 rtc(CE,IO,SCLK)——引脚定义，如本制作就是DS1302 rtc(8,7,6)：CE连接pin8，IO连接pin7，SCLK连接pin6，这个一定要和硬件接线一致，否则便不能工作；

◆rtc.halt(true|false)——停止或启动DS1302，参数为true则停止，为false则启动；

◆rtc.writeProtect(true|false)——DS1302写入保护，true为防写，false为可写；

◆rtc.setTime(hour,min,sec)——预置时、分、秒，24小时制；

◆ rtc.setDate(date,mon,year)——预置日、月、年，都是十进制数；

◆rtc.setDOW(dow)——预置周日，1为星期一，7为星期日；

◆rtc.getDateStr( )——获得日期字符串，默认日、月、年格式，4位年份（也可改成其他格式）再配合液晶显示函数lcd.print(rtc.getDateStr( ))，立即在液晶屏上显示日期；

◆rtc.getTimeStr( )——获得时间字符串，在液晶上显示时间也是一样方便；

◆rtc.getDOWStr( )——获得周日英文字符串，一般用缩写形式；

此外还有rtc.getTime( )——获得时间日期，它返回时间类型变量（包括时分秒、日月年）。

如果用这些函数控制 DS1302 就方便多了，引脚脉冲高低状态、数制转换等问题一概不管，只要根据要求直接套用函数即可。

DS1302芯片启动运行后只要有后备电池，就可以不间断地工作，5V断电也没关系。如果用一次性锂电，就不用充电。如果使用可充微型镍氢电池组，充电可以用以下函数控制：

◆rtc.setTCR(TCR_D1R4K)——括号中参数D1的意思是充电回路串联1个二极管，R4K是限流电阻4kΩ，不过也可选2个二极管和阻值是2kΩ、4kΩ、8kΩ的电阻。

通过使用上述函数，就可以开动DS1302了。就算没有液晶显示，只通过串口，日期时间也能在电脑屏幕上显示，不过我们要的是能够独立于电脑自行工作的实时时钟，所以还得加上液晶显示。相关函数主要用到以下4个：

◆ LiquidCrystal lcd(RS,E,DB4,DB5,DB6,DB7)——引脚定义，参数是各引脚对应的pin引脚，必

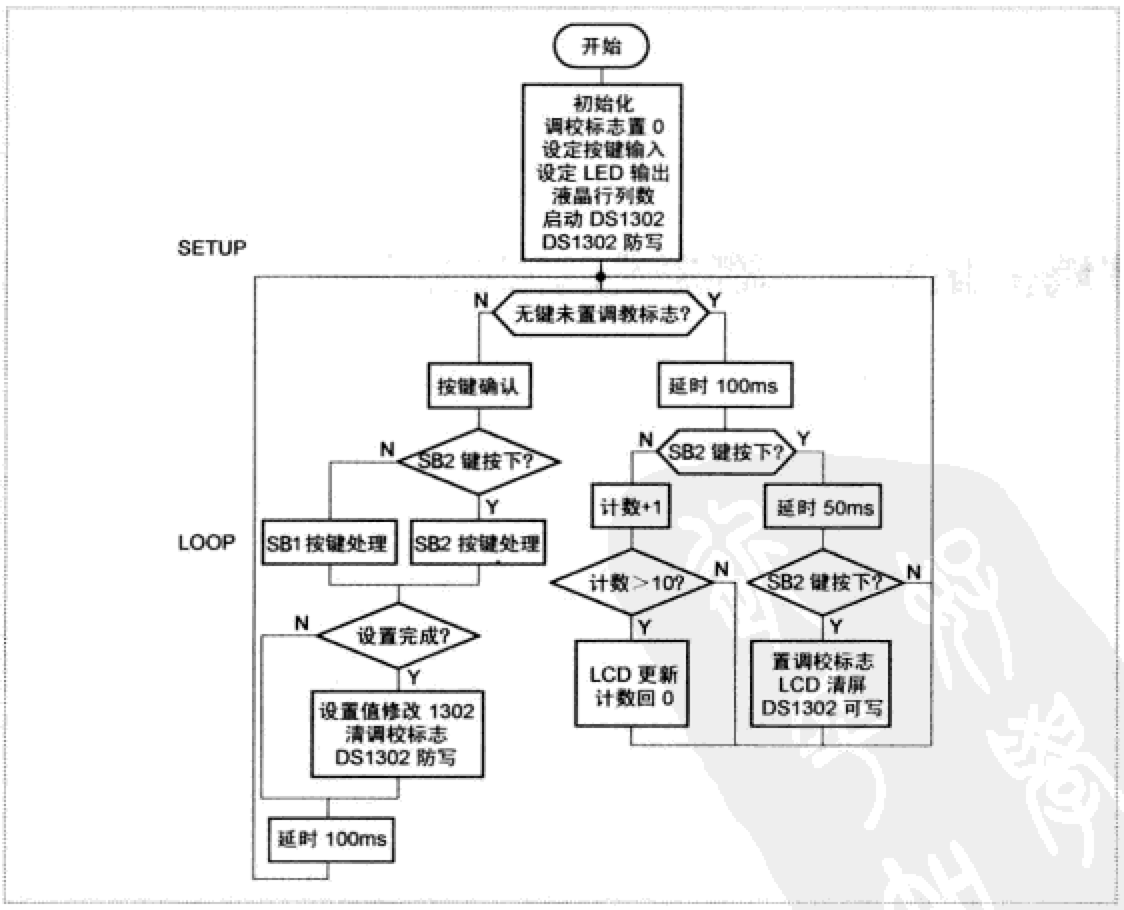


图4 工作流程图

须要和硬件一致，另外W/R要接地，只写不读。怎样定义每个引脚要根据电路布线方便而定，如本例为LiquidCrystal lcd(11,9,5,4,3,2)。注意不要使用pin1和pin0引脚，那是串口通信用的。

◆lcd.setCusor(x,y)——显示起始位置，对于1602，x为0~15，y为0或1。

◆lcd.print(data,BASE)——显示函数，参数可以是字符、字符串或数字，数字要指定数制，可以是BIN 、OCT、 DEC、HEX，分别表示二、八、十、十六进制数。

◆lcd.cursor( )——在指定位置显示下划线光标。

程序中只有函数还不够，还得做准备工作——初始化，以及把它们组织到程序循环中去，这样才能使程序不间断地工作。

图5 调整周日

图6 调整月份

图7 调整小时位

图8 调整秒位

无论是使用定时中断还是实时时钟芯片，运行中随时都可能插入人工调校。在这里我使用了两个按键 SB1、SB2，前者负责数值依据调校内容循环递增，例如“分钟”超过 59 就回到 0，“月份”超过 12 就回到 1 等，后者负责光标移动（改变调校项目）。

程序中对按键处理方法是，定义了按键状态变量key_state，初始为0，程序循环中一旦检测到有按键按下则转为1，下次循环如检测不到则回到0（意味着按键尚未稳定），如继续检测到则认为按键确实按下，进行按键处理，然后进入状态2，在程序循环中检测按键是否释放，如已经释放则进行某些后续处理并使按键状态回到0，准备下次按键检测。这个方法的优点是，检测可靠，反应较快，在按键检测期间可以插入别的工作。具体详情请参看源程序。

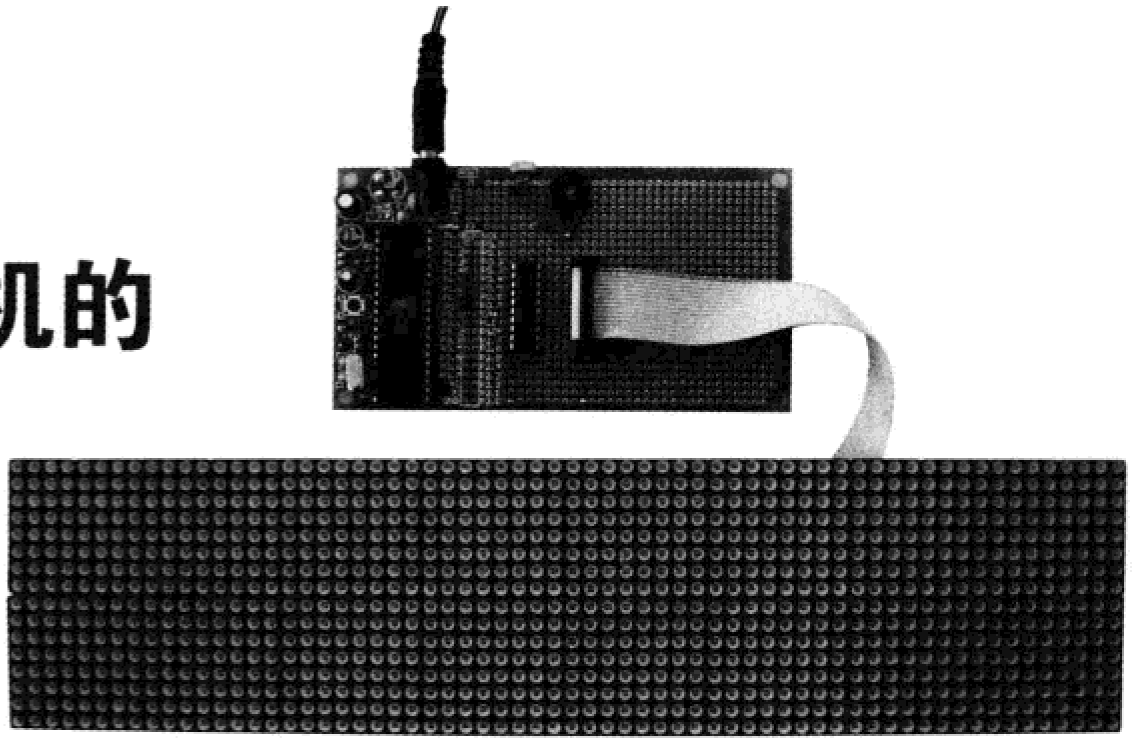
另外，程序中还定义了一个变量mode，作为调校标志。初始为0，对应时钟显示状态，确认有按键按下则转为1，进入调校状态，直到经过多次按键完成调校后它才回到0，再次进入显示状态，液晶显示调校后的时间日期。如图4所示，流程图中左边是调校循环状态，右边是查键—显示循环状态，启动初始化以后先进入右边循环，每0.1s查询一次SB2键是否按下，如未按，则计数加1，直到查询10次（正好是1s）刷新LCD显示，同时计数清0，继续循环。如SB2按下，则经过50ms延时确认后，置调校标志为1，进入左边调校循环。在调校循环中，SB2键的作用是移动光标（改变调校项目）以及最后确认完成调校，SB1键的作用是按照SB2当前确定的调校项目改变设置值。调校按键循环周期是0.1s，调校完成后，设置值写入DS1302，清除调校标志，又进入查键—显示循环。在此循环中，调校设置值也是跟随液晶显示每秒刷新一次。

运行

在Arduino编程平台上写好程序后，通过编译，改错，直到编译成功，就可以从USB/串口下载到I/O板运行。使用DS1302，首次运行是从2000年1月1日0时0分0秒开始，按下SB2，左端上、下显示Set和D，进入调校状态，再按SB2就会在周日位置（下行左端）出现下划线，如图5所示，这时用SB1输入周日值（1~7）。然后继续按SB2，月份位置显示下划线如图6所示，如果需要改变就按SB1调整月份，否则按SB2，光标移到年份调整。输完年份（2011~2021）后再按SB2，光标到达LCD上一行的小时位置，如图7所示，如有必要就按SB1调整时间，否则按SB2光标继续移动，一直到调整“秒”位置，如图8所示，调好后，再按SB2重新启动计时，就可以看到正确的时间了。使用DS1302时钟芯片停电后再上电还是正确时间，那就成功啦！得益于Arduino的扩展库，我们的制作和编程轻松了许多。

一点补充

上次在做I/O板时，细心的读者或许会问串口电路MAX232的9脚输出为什么空着。在Arduino最早的设计中没有使用它，后来的电路都是把复位电容的接地端接到这里，其作用是启动程序下载后，它会给出一个复位信号，使得AVR单片机处于复位状态，这时内部灌好的引导程序会启动串口下载。如果没有这个电容，则需要按一下复位按钮来启动串口下载。我制作的这块板因为考虑到还要作为普通开发板使用，实际上是通过跳线选择加入或断开一个从该点接到AVR单片机复位端的0.1μF电容。



基于51单片机的简易LED屏控制板制作

◎董庆源

如今LED显示屏已经是随处可见了，显示的效果也是各式各样。有兴趣的朋友一定从网上了解到关于LED屏的制作和控制方法，它一般都是通过内置控制卡来实现控制，这些控制卡大部分以单片机（一般都不是51单片机）为主控芯片，也有更高级的以ARM为主控芯片。主机电脑通过通信控制线将显示内容和显示效果设定到控制卡内，然后以脱机运行的形式，让控制卡在脱离主机电脑的情况下独立控制LED屏进行显示。

作为电子爱好者，我也想制作出自己的LED屏控制卡，但是必须说明的是：要制作出功能很完备的LED屏控制卡不是一件容易的事。由于51单片机片内资源和运行速度均有限，所以用它来实现较好的控制效果有很多制约。但是很多电子爱好者都是从51单片机开始入手学习的，对51单片机的内部电路及结构较为熟悉，所以要是能用51单片机实现对小面积通用LED屏的控制，制作出一块简单实用的基于51单片机的LED屏控制板，那也是一件值得让我尝试的事情。

带着这个想法，我制作了一块基于51单片机的具有红外遥控功能的LED屏简易控制板，说它简易是因为在控制效果上没有追求很多花样，而是直接用遥控器切换显示的内容，可以显示不同的文字，如果不用红外遥控功能，也可以用几个按钮开关取代红外遥控功能进行切换，只需要极少的器件。通过这个制作，我对通用LED屏就有了较深的了解，对LED屏单元板的电路构成和控制方法有了全面的认识。特别说明一点，我测绘的是一种最常见的室内单红色板，其他类型的单元板电路会略有不同。通过制作，理解通用LED屏的线路原理和控制方法才是本次电子制作试验的目的。

首先对LED屏的分类做简单说明。按照显示颜色，LED屏可分为：单红色、单绿色、红绿双基色、全彩色等，最常见的是单红色和红绿双基色两种屏。按照安装的位置LED屏可分为：室内、半户外（门头）、室外。按照发光点的直径LED屏可分为：Φ3.0、Φ3.75、Φ5.0等，最常用的是Φ3.75和Φ5.0这两种规格。按照发光点的间距LED屏可分为：P6、P8、P10、P12等。按照单元板上的接口，LED屏可分为：08接口、12接口等，最常见的就是这两种，08接口主要用于室内屏，12接口主要用于半户外屏。按照控制方式，LED屏的控制卡可分为：异步卡和同步卡。一般场合都用异步卡，同步卡主要用于全彩屏的控制。控制卡按照通信方式可分为：RS232接口、RS485接口、RJ45网络接口、GSM无线网络接口等。最经济实用的是RS232接口卡，随着控制需求的提升，RJ45网络接口卡现在也逐渐多了起来。

我制作的LED屏单元板，如图1、2所示，该单元板长64点，高16点，点径Φ3.75mm，点距4.75mm，控制信号接口类型是08接口，使能端为高电平有效，有些厂家的板子使能端是低电平有效，这个需要由电路决定。

LED屏单元板的电路原理图较大，读者朋友可以到无线电网站下载电路原理图作为参考。

芯片功能说明：

74HC244：8同相3态缓冲器/线驱动器，用于信号功率放大，共2片。有的屏上使用74HC245，二者功能一样，区别在于244是单向的数据传送，245是双向的。

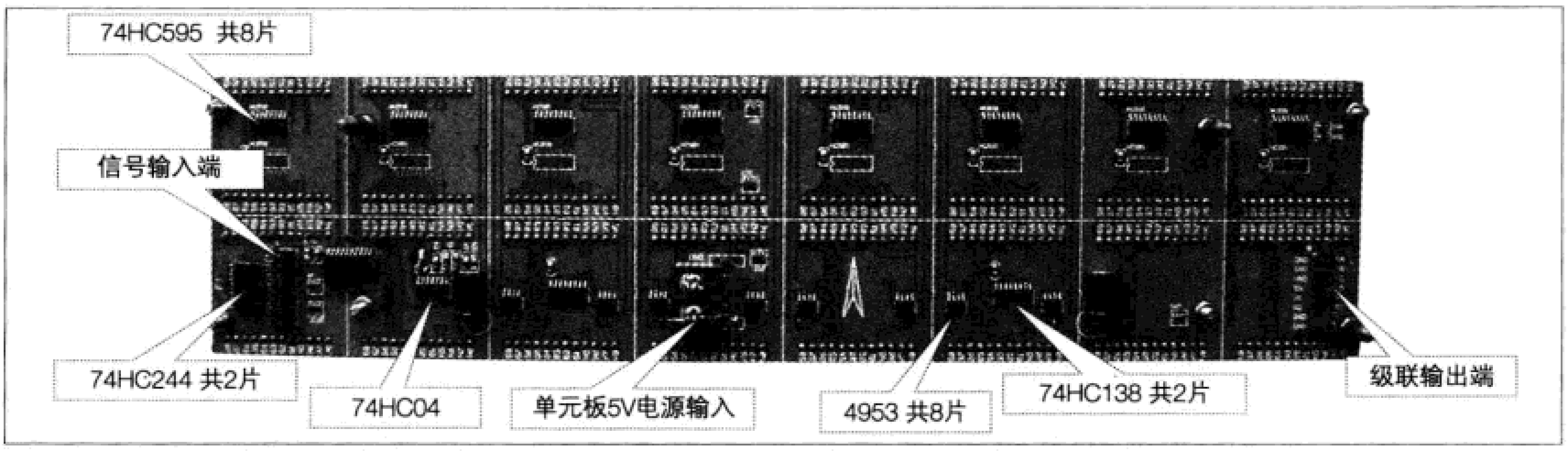


图1 64×16室内单红色LED屏单元板背面视图

74HC138：3-8 译码器，用于行选择，共 2 片，可控制 16 行。

74HC595：8 位移位寄存器，用于接收锁存 8 位显示数据，再去控制相应的列是否发光，共 8 片，每片控制 8 列，可控制 64 列。

74HC04：6 反相器，用于对相关信号进行电平倒相。

4953：行电源控制 CMOS 芯片，内部是 2 个 CMOS 管，输入端受 74HC138 控制，每片可控制 2 行，共 8 片，可控制 16 行。

芯片的具体功能、引脚分布和连接要求，读者朋友可以到网上查阅相关资料，这里只是简单扼要地说明它们的名称和基本功能。

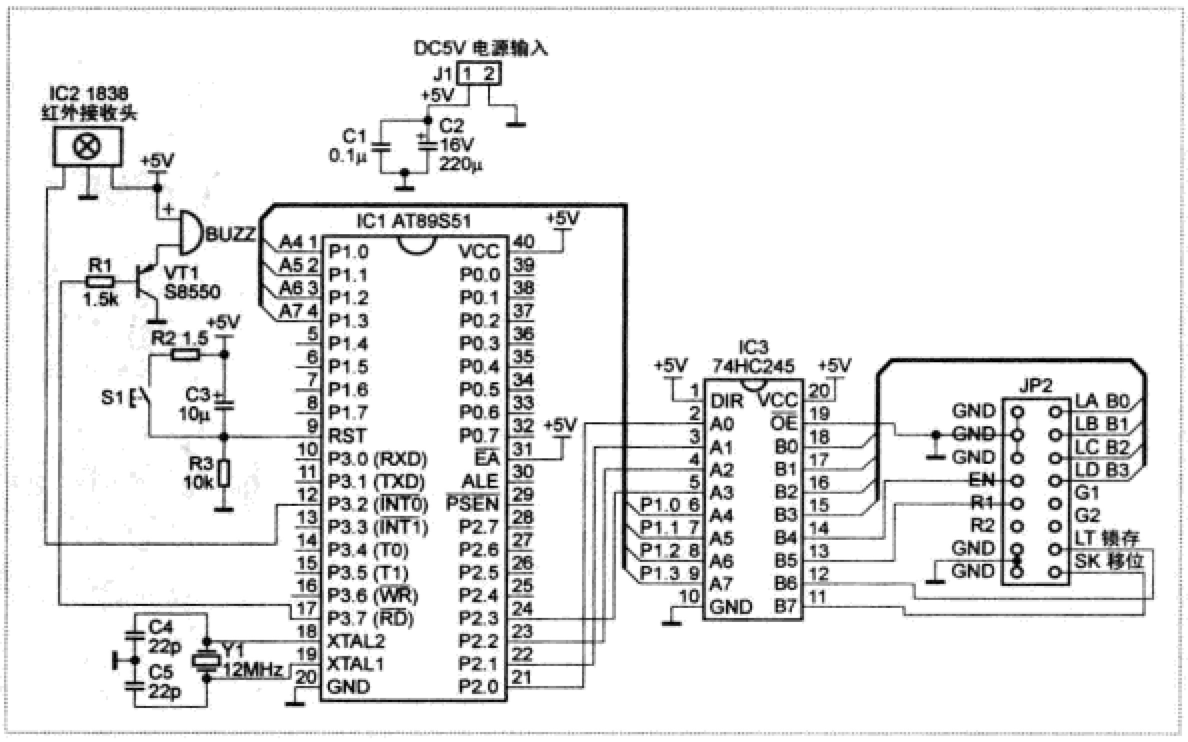


图2 控制板电路原理图

相关控制芯片介绍完成后，咱们进入制作主题吧，这次制作的控制板电路如图2所示。

电路说明：

1. 1838红外接收头最左侧引脚是数据脚，这里接到单片机的P3.2引脚（外部中断0引脚），采用外部中断方式进行红外信号的解码。

2. 用P3.7引脚控制蜂鸣器，如果接收到红外遥控器信号并解码成功，则鸣响一次作为接收提示。

3. 电路图右侧的JP2接口，就是室内屏常用的08接口，它的引脚排列如图3所示。引脚功能说明：

（1）5 个 GND 引脚都是接电源负极。

（2）EN——使能端，接单片机 P1.0 引脚，经过屏上信号放大芯片 74HC244 后，最终控制的是 74HC138 的 E3 端，E3 使能端是高电平有效，各个厂家的屏在 EN 信号传递上经过的路径不一样，所以有的屏是 EN 为高电平和 E3 为高电平可以显示，有的是 EN 为低电平和 E3 为高电平可以显示，在实际使用中可以根据情况而定。

（3）R1——64×16 红色条屏单元板红色二极管串行数据引脚，接单片机 P1.1 引脚。

（4）R2——64×32 单元板下半屏红色二极管串行数据引脚，因为这里用的是 64×16 的半屏，所以该引脚悬空未接。

（5）LA——用于控制屏上 74HC138 的译码输入脚 A0，接单片机 P2.0 引脚。

（6）LB——用于控制屏上 74HC138 的译码输入脚 A1，接单片机 P2.1 引脚。

（7）LC——用于控制屏上 74HC138 的译码输入脚 A2，接单片机 P2.2 引脚。

(8) LD——用于控制屏上 74HC138 的使能端 E2，接单片机 P2.3 引脚。

(9) G1、G2——用于双色屏上绿色发光二极管的串行数据引脚，这里控制的是单红色屏，所以两个引脚均悬空未接。

(10) LT——用于控制屏上 74HC595 的锁存时钟引脚 STcp，接单片机 P1.2 引脚。

(11) SK——用于控制屏上 74HC595 的数据移位时钟引脚 SHcp，接单片机 P1.3 引脚。

通过以上说明，大家可以发现，如果要控制双色的64×32的单元板，就必须再加一块74HC245，然后还要再占用多一些的单片机引脚，如果再加上各种控制效果所需求的外扩芯片，51单片机的局限性就会显露出来，所以现在市面上卖的LED屏控制卡大部分不用51单片机作为控制芯片，电子爱好者可以通过这个制作进行尝试。

制作所需的所有元器件，如图 4 所示。

元器件说明：

1. 电路板左侧是电源和 AT89 系列单片机最小系统，这样可以省去这部分连线，右侧是试验区，可以根据需求进行自由连线。

2. 单片机就用AT89S51，经济实用。信号放大驱动芯片用的74HC245。红外接收头用的带金属外壳的1838，对比0038型，它的稳定性更好。

3. 其他的是常用的电阻、电容等器件，就不用多做介绍了。

焊接制作：

1. 根据电路图制作好PCB后，先在PCB上进行单片机电源和最小系统部分的焊接。

2. 再把红外接收头、74HC245、JP2排线接口等焊接固定，对照原理图把它们一一连接好。

3. 完成以上工作后，再用万用表蜂鸣挡做一个通电前的防短路检测就可以了。

最终焊好的板子如图5所示。

程序调试：

1. 根据要求绘制程序流程图。在了解原理图的基础上，对相应的引脚进行功能分配，明确程序的主体框架，主程序流程图如图6所示。

2. 编写调试各个子程序段实现相应功能。其中红外接收解码程序段要与遥控器相对应，我用的是基于DT9122D芯片制作的

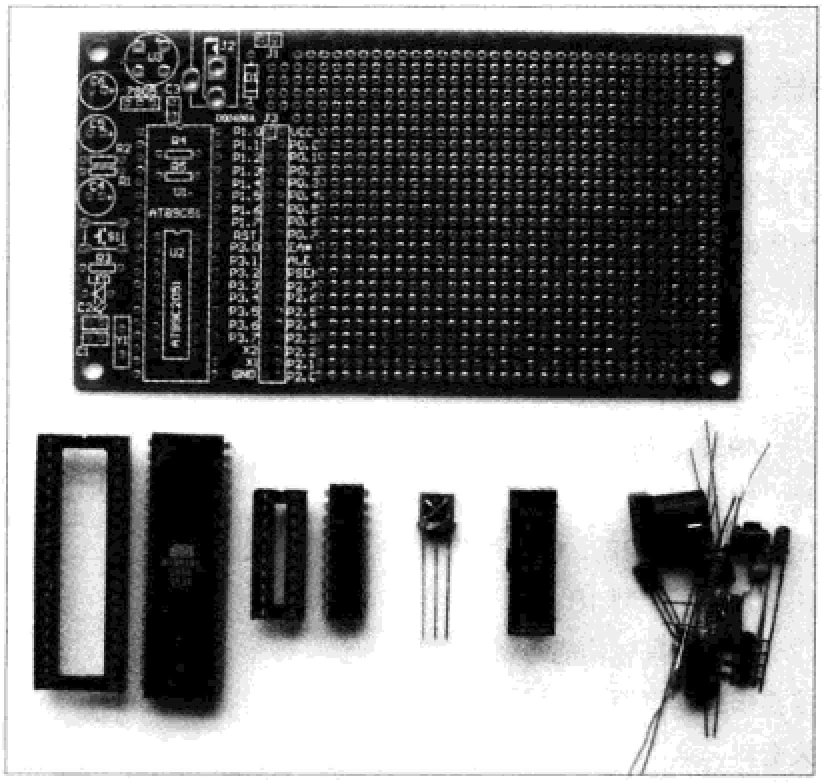


图4 元件安装前照片

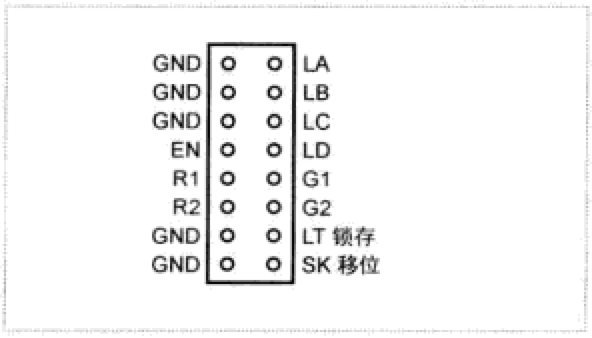


图3 08接口引脚排列

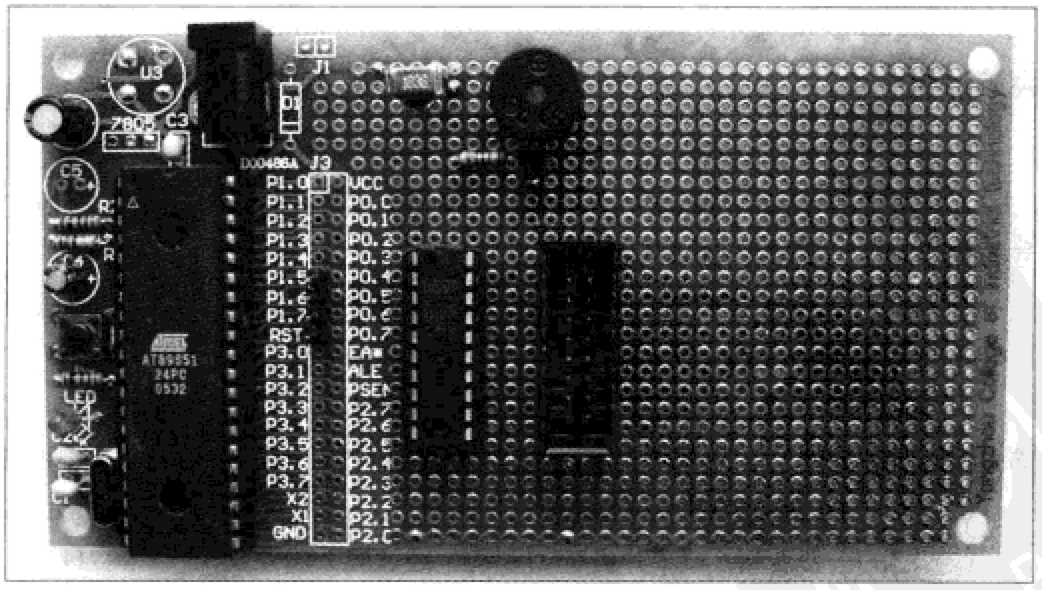


图5 制作完成后的控制板实物图

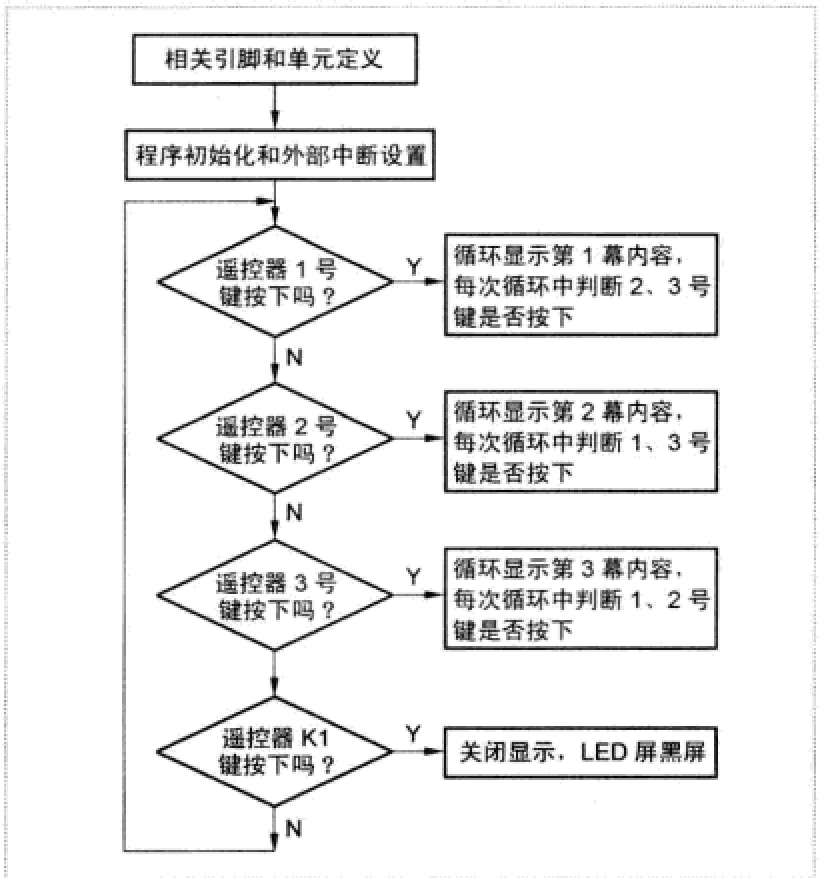


图6 主程序流程图

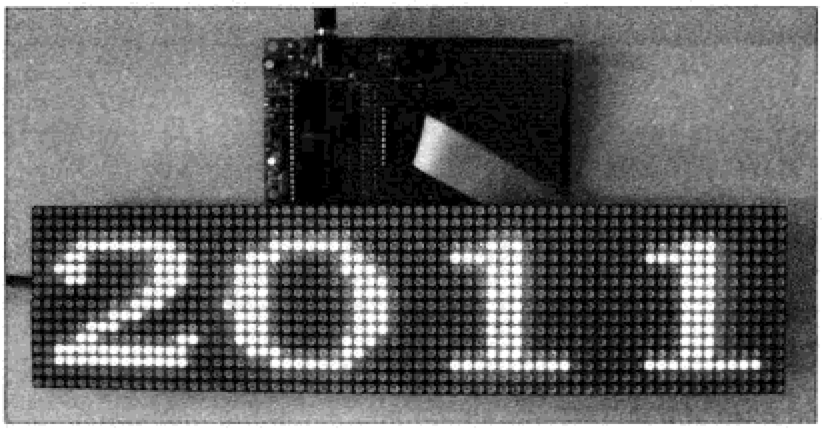


图7 第1幕显示内容

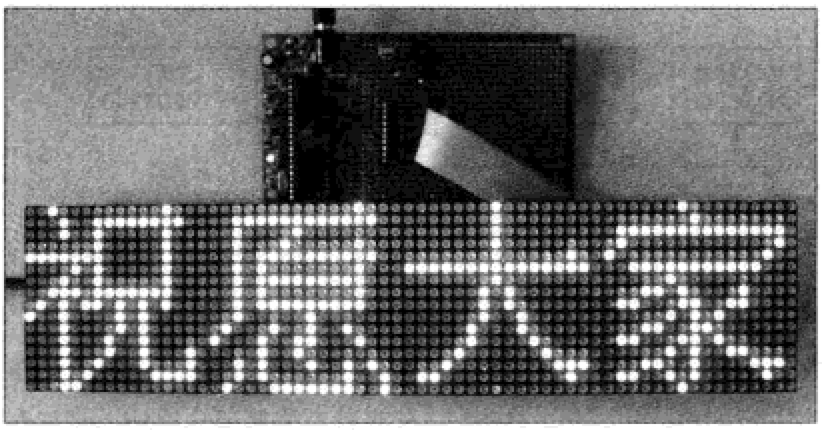


图8 第2幕显示内容

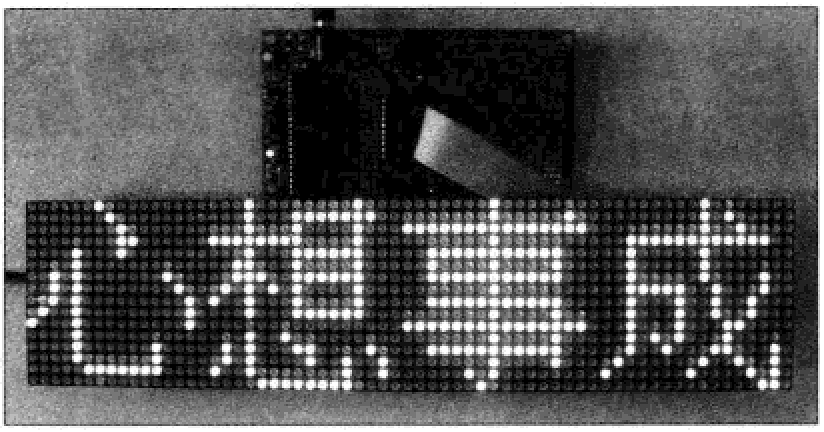


图9 第3幕显示内容

单片机实验箱所配套的红外遥控器，发射的是NEC格式的红外编码。如果读者朋友不是这个类型的遥控器，请参照资料对程序作相应修改。

3. 点阵汉字数据转换。网上有很多软件都可以实现转换，只要将转换好的数据加到程序中即可显示自己想要的字幕。

具体源程序可到无线电网站下载，我习惯用汇编语言编程，习惯用C编程的读者朋友可以参考这个程序做修改，最终完成的显示效果如图7、8、9所示。

制作问题汇总：

1. 晶体用的是12MHz的，红外遥控解码程序段中的延时子程序都是基于这个主频而编写的，如果想控制较大面积的LED屏，可以更换成24MHz的晶体，但要将程序中红外接收的延时程序段做一些修改。

2. 控制板的电源负极GND，一定要与LED屏的GND端相连，否则LED屏无法显示。

3. 使能端EN的电平，要根据板子来决定，如果设置错误会使得亮度极低，出现这种情况，可以将程序中的使能端电平反相，以解决这个问题。

4. 对于64×16双色单元板，需要再加一块74HC245作为信号放大，然后再用一个单片机引脚作为G1的数据控制线，就可实现对双色板的控制。

5. 对于长 × 高（64×32）的单色或双色单元板，输入接口的R1、R2、G1、G2 分别作为上、下两个 64×16 半板的红、绿数据引脚，如果要控制这样的板子，需要增加相应的驱动芯片和占用单片机引脚。

6. 要控制1块以上的单元板，只需要将第1块的输出接到下一块的输入即可，但要注意51单片机的扫描速度，级联太多会产生明显的频闪，影响视觉效果。

基于51单片机的LED屏简易控制板的制作介绍就暂告一段落，如果有新的功能拓展，我会再写文章与大家分享。

自制数字示波器 ——电路原理与程序设计篇

◎吴汉清

示波器是最常用的电子测量仪器之一，它能把肉眼看不见的电信号变换成看得见的图像。十年前，为了携带方便，我曾经做过一台微型电子示波器（见图 1）。在《无线电》杂志上看到魏坤、张彬杰等作者写的数字示波器的文章后，我又产生了浓厚的 DIY 兴趣。在学习了他们制作经验的基础上，我也制作了一台简易数字示波器（见图 2），材料成本只有 150 元左右，这台数字示波器的设计思想是：简单实用，价格低廉，容易制作。本期我将介绍制作的电路原理与程序设计过程，安装及调试部分敬请关注下期。

图1 多年前制作的微型电子示波器

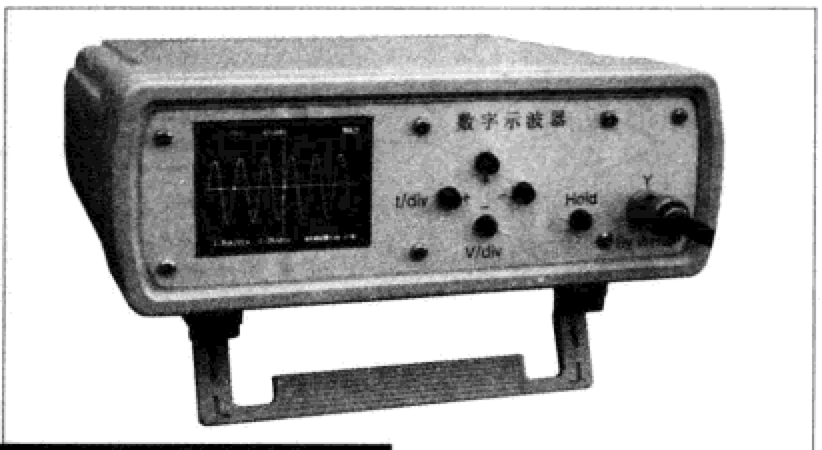


图2 自制的简易数字示波器

电路工作原理

我们知道，模拟示波器是用阴极射线示波管（CRT）显示被测信号波形的，而数字示波器是采用LCM（LCD显示模块，含LCD及显示驱动控制芯片）显示被测信号波形。因为LCM的每一个显示像素都对应一个地址，地址要用数据表示，每一个像素的颜色也是用数据表示的。因此电路向LCM发送的是数据编码信号，这就决定了它和模拟示波器的电路结构不一样。

主要性能指标：

最高采样率：20MSa/s
模拟带宽：4MHz
输入阻抗：1MΩ
垂直灵敏度：0.01V/div~5V/div（按1-2-5方式递进，共9挡）
水平扫描速度：1.5μs/div~6ms/div（按1-2-5方式递进，共12挡）
垂直分辨率：8位
显示屏：2.4英寸TFT320×240（驱动控制芯片：ILI9325）

测量时能同时显示信号的频率、电压峰峰值，具有信号保持（HOLD）功能。

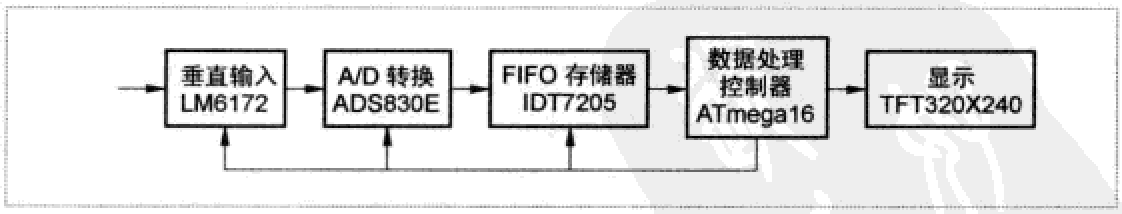


图3 数字示波器结构框图

本文介绍的数字示波器的结构框图见图3。它由垂直输入电路、A/D转换电路、数字信号处理与控制电路、液晶屏显示电路、电源电路等部分组成。

输入的电压信号经垂直输入电路放大，以提高示波器的灵敏度和动态范围。对输出的信号取样后由 A/D 转换器实现数字化，模拟信号变成了数字形式存入存储器，微处理器对存储器中的数据根据需要进行处理，最终在显示屏上显示测量波形和相关的参数，这就是数字存储示波器的工作过程。

数字示波器的电路原理图见图 4，下面分别对各单元电路进行介绍。

◆ 垂直输入电路

垂直输入电路由双运算放大器 LM6172 和衰减电路等部分组成。对其有两个基本的要求：一是对放大倍数的控制，二是要有满足设计要求的足够的带宽。

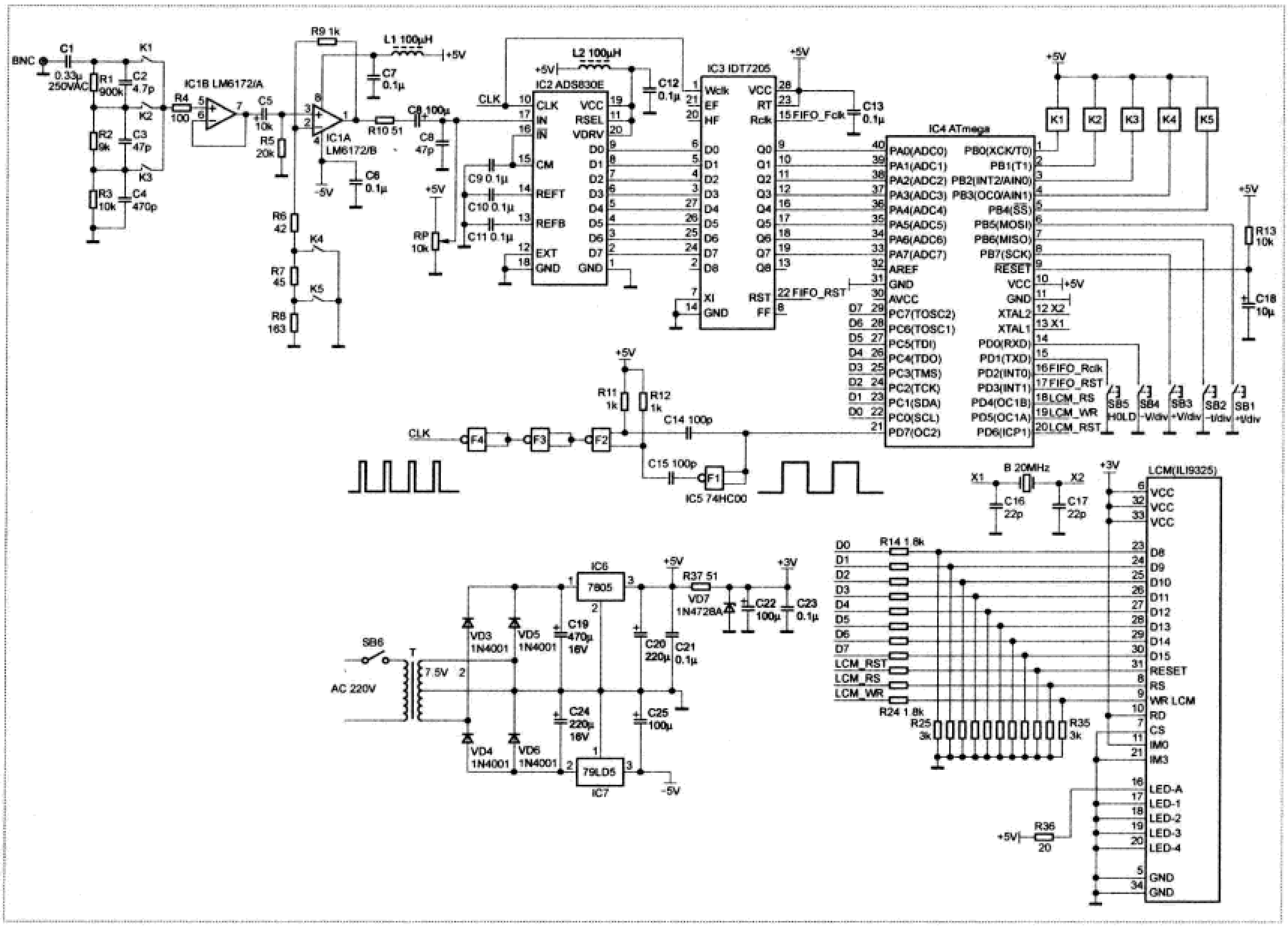


图4 数字示波器电路原理图

示波器输入信号电压的动态范围很大，为了将输入信号电压调节到A/D转换电路的最佳采样范围，以便得到最合理的显示波形，在信号电压较小时要进行放大，在信号过大时要进行衰减。

示波器输入信号的频率范围也很宽，为了使垂直输入电路有较平坦的频率特性曲线，即对不同频率的信号放大电路的增益基本保持一致。为此选用了高速双运放LM6172，其带宽为100MHz，并在衰减电路中加了频率补偿电容。

电阻R1、R2、R3和继电器K1、K2、K3等组成衰减电路，衰减系数分3挡：1:1、1:10、1:100，由K1、K2、K3控制。第一级运算放大器接成电压跟随器的模式，主要起到缓冲的作用，提高输入阻抗，降低输出阻抗。第二级运算放大器接成电压串联负反馈电路的模式，其中电阻R6、R7、R8和继电器K4、K5等组成3挡增益调节电路，放大器的增益由K4、K5控制。当触点K4闭合时增益为（$R6+R9$）/$R6$，当触点K4开启、K5闭合时增益为（$R6+R7+R9$）/（$R6+R7$），当触点K4、K5均开启时增益为（$R6+R7+R8+R9$）/（$R6+R7+R8$）。按电路图中各电阻的取值，对应本级3挡的增益分别为25、12.5、5。

继电器K1~K5工作状态受单片机控制，所以垂直输入电路是一个程控放大器。垂直灵敏度和K1~K5工作状态的对应关系见表1（1表示闭合，0表示断开）。

◆ A/D转换电路

我们知道，A/D转换电路的作用就是将模拟信号数字化。一般把实现连续信号到离散信号的过程叫采样。连续信号经过采样和量化后才能被单片机处理。通过测量等时间间隔波形的电压幅值，并把该电压值转化为用二进制代码表示的数字信息，这就是数字示波器的采样，采样的工作过程见图5。采样的时间间隔越小，重建出来的波形就越接近原始信号。采样率就是每秒采样的次数，例如，示波器的采样率是10MSa/s，即每秒采样10M次，则表示每0.1μs进行一次采样。采样率是数

字示波器最重要的一项指标。

根据Nyquist采样定理，当对一个最高频率为f的模拟信号进行采样时，采样率必须大于f的两倍以上才能确保从采样值完全重构原来的信号。对于正弦波，每个周期至少需要两次以上的采样才能保证根据采样数据恢复原始波形。在数字示波器中，为了减小显示波形的失真，采样率至少要取被测信号频率的5~8倍。本文介绍的数字示波器采样率取被测信号频率的5倍，因为最高采样率为20MSa/s，所以当被测信号的带宽在4MHz以内时有比较好的测量结果。

采样率的提高受制于A/D转换芯片的工作速度，本文电路中使用的单片机ATmega16内部虽然也有A/D转换器，但其工作频率太低，不能满足数字示波器的采样要求。因此我们用了一片高速A/D转换芯片ADS830E，其最高采样率可达60MSa/s。ADS830E的转换精度为8位二进制数，即垂直分辨率为256，因为选用的LCM的分辨率为320×240，对应垂直分辨率为240，所以ADS830E完全能满足分辨率的使用要求。

ADS830E的IN（17脚）是供采样的模拟信号的输入端，CLK（10脚）是采样时钟信号输入端。每输入一个时钟脉冲就进行一次A/D转换，转换后的8位二进制数据由D0~D7输出。ADS830E的输入电压幅度可以通过11脚进行控制，当11脚接高电平时，ADS830E的输入电压范围是1.5~3.5V，当11脚接低电平时，输入电压范围是2~3V。这里选用1.5~3.5V的输入电压范围，中点电压为2.5V，中点电压由电位器RP进行调节。当IN输入电压为1.5V时D0~D7输出的转换数据是0x00，当IN输入电压为3.5V时D0~D7输出的转换数据是0xff，即255。

◆ 数字信号处理与控制电路

数字信号处理与控制电路由单片机ATmega16、FIFO（先进先出）存储器IDT7205、4个2输入与非门74HC00等组成。

单片机ATmega16在电路中的主要作用是：1. 对A/D转换后的数字信号进行处理，转换成LCM能接受的数据格式，输出给它显示；2. 产生ADS830E、IDT7205工作所需要的时钟脉冲信号；3. 通过按键对示波器参数进行控制调节，输出继电器的控制信号。

FIFO存储器IDT7205是一个双端口的存储缓冲芯片，具有控制端、标志端、扩展端和8192×9的内部RAM阵列，12ns的高速存取时间。内部读、写指针在先进先出的基础上可进行数据的自动写入和读出。当有数据输入到数据输入端口D0~D8时，可由控制端Wclk来控制数据的写入。为了防止数据的写溢出，可用标志端满FF、半满HF来标明数据的写入情况，写入时由内部写指针安排其写入的位置。由于内部RAM阵列的特殊设计，先存入的数据将被先读出。如果需要数据外读，则可由控制端Rclk来控制数据的读出。RST为复位端。Wclk、Rclk、RST均由单片机ATmega16提供控制脉冲。数据输出端口Q0~Q8是三态的，在无读信号时呈高阻态。输入数据位D0~D8和输出数据位Q0~Q8均为9位，这里输入和输出均只使用了8位，即只使用了D0~D7和Q0~Q7。

读到这里，有的读者可能会问：把ADS830E输出端口D0~D7输出的数据直接输入ATmega16的PA端口不就行了吗，为什么还要在中间加上一个IDT7205？这是因为ADS830E工作速度比ATmega16快得多，即ATmega16读取数据的速度比ADS830E输出数据的速度慢，如果直接相连ATmega16就拖了ADS830E的后腿。加上IDT7205后就起到了缓冲的作用，ADS830E转换的结果先存在IDT7205内，等到ATmega16需要时,再从IDT7205中读出来。

ADS830E的采样时钟与IDT7205的写信号时钟是同一个时钟源，以确保两者同步。时钟脉冲信号由ATmega16使用内部定时器产生，由于ATmega16外接晶体的频率为20MHz，所以产生的时钟信号最高频率只能达到10MHz，为了使采样率达到20MSa/s，使用了74HC00等构成的倍频电路。若ATmega16 PD7端输出的脉冲信号频率为f，则74HC00的F4输出的脉冲信号频率为2f，倍频电路的工作过程和各点脉冲信号时序关系见图6。

K1~K5是干簧继电器，干簧继电器特点是吸合和释放时噪声很小，功耗低。因其吸合电流较小，所以可直接用ATmega16的输出端口驱动。

SB1~SB5是示波器调节按钮。SB1、SB2是水平扫描速度调节按钮，按SB1时μs/div的值增加（水平扫描速度减小），按SB2时μs/div的值减小（水平扫描速度增加），SB3、SB4是垂直灵敏度调节按钮，按SB3时V/div的值增加（垂直灵敏度减小），按SB4时V/div的值减小（垂直灵

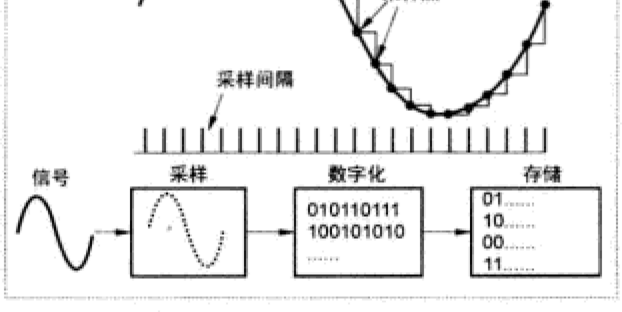


图5 采样的工作过程

表1

垂直灵敏度	K1	K2	K3	K4	K5
5V/div	0	0	1	0	0
2V/div	0	0	1	0	1
1V/div	0	0	1	1	0
0.5V/div	0	1	0	0	0
0.2V/div	0	1	0	0	1
0.1V/div	0	1	0	1	0
0.05V/div	1	0	0	0	0
0.02V/div	1	0	0	0	1
0.01V/div	1	0	0	1	0

敏度增加）；SB5是波形保持（HOLD）按钮，按一下测量波形被冻结保持，同时在显示屏上显示字符“HOLD”，再按一下又恢复到正常测试状态。所有调节参数均显示在液晶屏上，调节好的参数将自动保存到ATmega16的EEPROM中，下次开机时有关参数将预设在上次关机前的设定值上。

◆显示电路

LCM采用2.4英寸TFT彩色液晶屏，分辨率为320×240，驱动控制芯片为ILI9325，该芯片传递数据8/16接口位兼容，使用8位接口时能够节省单片机的输出端口，在8位接口工作状态时16位数据分两次传递，速度稍慢。数据端口D0~D15中的高8位D8~D15为8位接口使用的端口。8/16接口位的选择由端口IM0控制，IM0接高电平时为8位接口工作状态，IM0接低电平时为16位接口工作状态。

电路中ILI9325的工作电压是3V，ATmega16的工作电压是5V，两者高电平不一致，通信端口相连时要进行电平转换，因为这里只需要ATmega16向ILI9325单向传递数据，所以只需要将5V向3V电平转换，不需要将3V电平向5V电平转换，就不必使用专用的电平转换芯片，只要用电阻分压电路将5V高电平转换成3V高电平就行了。电路中R14~R35组成电阻分压电路，连接端口有8个数据端口和3个控制端口。

◆电源电路

这个数字示波器使用了交流电源，提供+5V、-5V、+3V三种直流电压。

程序设计

设计好电路只是为数字示波器奠定基础，更重要的是单片机程序的设计。实际上在设计硬件时既要考虑到功能，也要考虑到程序设计的需要。比如对单片机的选型，主要考虑功能、工作速度、端口的数

表2

Key_hor	TCCR2	T/C2时钟源	OCR2	采样时钟频率	水平扫描速度
1	0x19	20MHz	0	20MHz	1.5μs/div
2	0x19	20MHz	1	10MHz	3μs/div
3	0x19	20MHz	3	5MHz	6μs/div
4	0x19	20MHz	9	2MHz	15μs/div
5	0x19	20MHz	19	1MHz	30μs/div
6	0x19	20MHz	39	500kHz	60μs/div
7	0x19	20MHz	99	200kHz	150μs/div
8	0x19	20MHz	199	100kHz	300μs/div
9	0x1a	20MHz /8	49	50kHz	600μs/div
10	0x1a	20MHz /8	124	20kHz	1.5ms/div
11	0x1a	20MHz /8	249	10kHz	3ms/div
12	0x1b	20MHz/32	124	5kHz	6ms/div

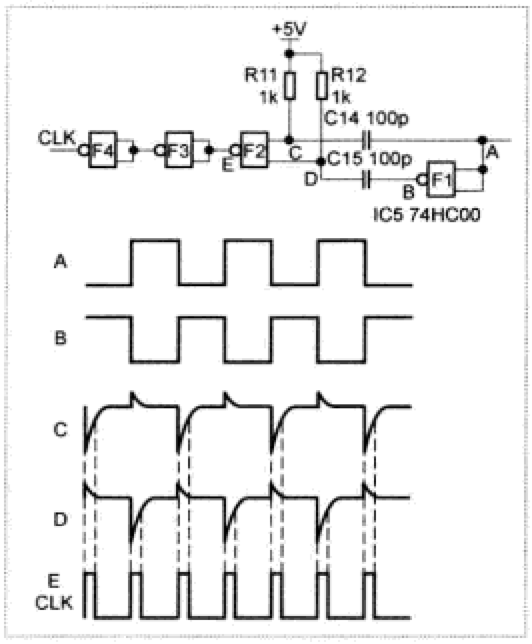


图6 倍频电路及各点的脉冲

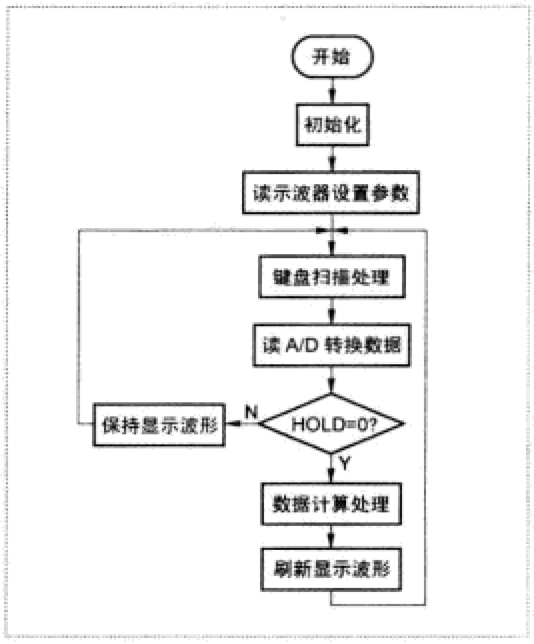


图7 程序流程图

量、程序存储器Flash的容量、RAM的容量、有没有EEPROM等。综合考虑后选用AVR单片机ATmega16，它的程序存储器Flash为16KB，RAM为1KB，使用时将16MHz的时钟频率超频到20MHz，经过对其资源合理分配，完全可以满足设计要求。

程序的开发环境为ICC-AVR V6.31A，使用C语言编写。程序采用了分时控制、顺序调度的工作方式，没有使用任何中断程序，程序流程图见图7。

下面对主要部分进行分别介绍。

◆垂直灵敏度控制

按钮SB3、SB4用来调节垂直灵敏度，按动后通过键盘扫描程序可以增加或减小程序中变量Key_ver的值，Key_ver取值范围为1~9，分别对应9挡垂直灵敏度，通过Key_ver的取值控制继电器K1~K5的工作状态，从而得到相应的灵敏度。

以K1为例，K1接ATmega16的PB0端口，有关宏定义为：

```
#define K1_ON PORTB &= ~(1<<PB0)
#define K1_OFF PORTB |= (1<<PB0)
```

因此，K1_ON表示PB0输出低电平，K1闭合，触点接通；K1_OFF表示PB0输出高电平，K1释放，触点断开。

◆水平扫描速度控制

水平扫描速度控制是通过改变A/D转换电路的采样率来实现的，按动SB1、SB2可以改变程序中变量Key_hor的值，Key_hor取值范围为1~12，分别对应12挡水平扫描速度。

A/D转换电路所需的采样时钟脉冲

用ATmega16的8位定时器/计数器2-T/C2产生，选择CTC工作模式。其工作参数主要由控制寄存器TCCR2、计数寄存器TCNT2、输出比较寄存器OCR2决定。TCCR2中的位CS22、CS21、CS20的取值确定T/C2的时钟源的分频系数，OCR2中的数据用于同TCNT2中的计数值进行连续的匹配比较，一旦TCNT2计数值与OCR2的数据相等，单片机端口OC2的输出电平即取反，这样即可输出脉冲信号。脉冲信号的频率f由时钟源的分频系数和OCR2的预置值决定，计算公式为f=时钟源频率/(2×(1+$OCR2$))，OC2输出的脉冲信号经倍频后作为采样时钟信号，相关参数之间的关系见表2。

只要对寄存器TCCR2、OCR2的值进行设置，就可以获得我们所需频率的采样时钟信号。

◆数据的存储和读取

ADS830E的采样数据存入IDT7205后达到一定数量就停止采样，再将IDT7205存储的数据读入ATmega16，程序中用一个数组RAM[650]来存储读取的数据，存储容量为650，即一次读取650个采样数据。

仔细看了电路图的读者可能会发现，IDT7205的满FF端口并没有使用，为什么不用呢？这是因为ATmega16的RAM容量只有1KB，只能分配约650个存储单元用来存储从IDT7205读取的数据，IDT7205存多了数据也没有用，ATmega16不能全部存储，多余的数据就丢弃了，还不如少读点数据节省时间，提高显示波形的刷新频率。这在采样时钟频率较低时效果犹为明显，因为采样时钟频率越低，采集一个数据所花的时间越长。以采样时钟频率5kHz为例，如果要将IDT7205存满8192个数据，所需要的时间为8192/5000≈1.6s，显示波形1.6s以上才能刷新一次，这显然是不行的。如果存满700个就结束，则所需要的时间为700/5000=0.14s,刷新速度提高了很多。

从上面的分析可以看出，FIFO存储器其实使用IDT7202就够了，IDT7202有1024个存储单元。不过笔者只买到了DIP封装的IDT7205，虽然有点大材小用，但为以后数字示波器升级提供了空间。FIFO存储器存储数据的容量称为数字示波器的存储深度，也称记录长度，存储深度也是数字示波器的一个重要技术指标，适当存储深度便于对显示波形进行分析和处理。

不使用FF端口是如何控制IDT7205存储数量的呢？我在IDT7205存储数据时根据不同的采样时钟频率设置了不同的延时时间，在此时间内能存入多于700个数据即可。延时结束后即将IDT7205的存储数据读入ATmega16。

由于ADS830E每次重新进入工作状态要有一个稳定的过程，开始采样的几个数据精度不高，因此在读取IDT7205数据时先空读50个数据，将这些数据丢弃，然后再将后面的数据读入ATmega16。

◆数据计算处理

数据计算处理工作主要包括同步触发信号检测、信号电压峰峰值测量、信号频率测量。这部分程序设计的思路是：

先在650个数据的前350个数据中以显示屏的垂直中点对应数据120为基准，找到同步触发信号。之所以在前350个数据中找同步触发信号，是为保留后面至少有300个数据供显示波形用。找到同步触发信号后，则把对应该点数据为起点的连续300个数据作为显示数据。

然后找到650个数据中的最大值和最小值，求最大值和最小值的算术平均数，即可得到中点电压值，检测信号相邻两次向上穿过中点的时间差即可计算出信号的周期。

◆LCM的控制与显示

TFT-LCD显示屏的分辨率为320×240，对应320×240个像素。显示屏的每一个像素都对应着驱动控制芯片

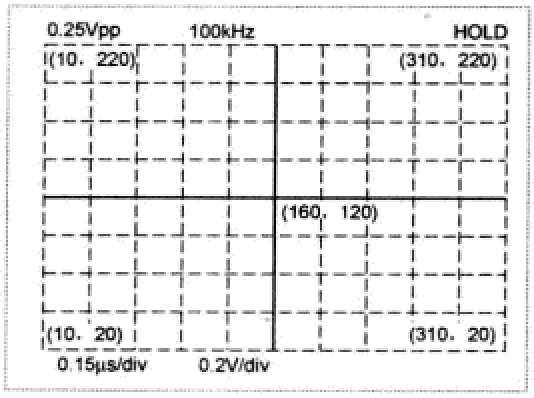


图8 显示区域

ILI9325内部存储器唯一的一个地址（x，y），x为横坐标，寻址范围为0~319，y为纵坐标，寻址范围为0~239。在像素对应地址写入16位颜色数据就可以显示相应的颜色，如果某一点要清除，只要对该像素对应的地址写入背景色就可以了。由于这里ILI9325采用8位接口工作模式，因此传递16位数要分两次进行。

因为数字示波器既要显示被测信号的波形，也要显示有关的测量数据，如电压峰峰值、频率、水平扫描速度、垂直灵敏度等，所以必须对显示区域进行合理的划分，并对颜色进行规划设置，分配好的显示区域见图8。图中用来显示波形的区域为中间的300×200。在这个区域画了刻度线，将水平方向分成10格，垂直方向分成8格。其余区域用来显示各种数据。

对ILI9325最基本的操作有两种：发送命令和发送数据。无论是显示屏的初始化，还是设置显示地址和显示颜色，都要用到这两种基本操作。

显示被测信号波形的过程是：先清除上一帧显示波形，然后画刻度线（刻度线每次都要重画，因为有些和显示波形交叉的点也被清除了），最后画新的一帧信号波形，同时备份数据作下一次清除用。显示信号波形时，存储器地址（x,y）中的x代表水平扫描信号所处的位置，y代表信号电压的大小。每次刷新信号波形时，信号电压峰峰值和信号频率显示数据也同时刷新一次。水平扫描速度和垂直灵敏度的数据只有在重新调整后才刷新。

笔筒式万年历

◎伍浩荣

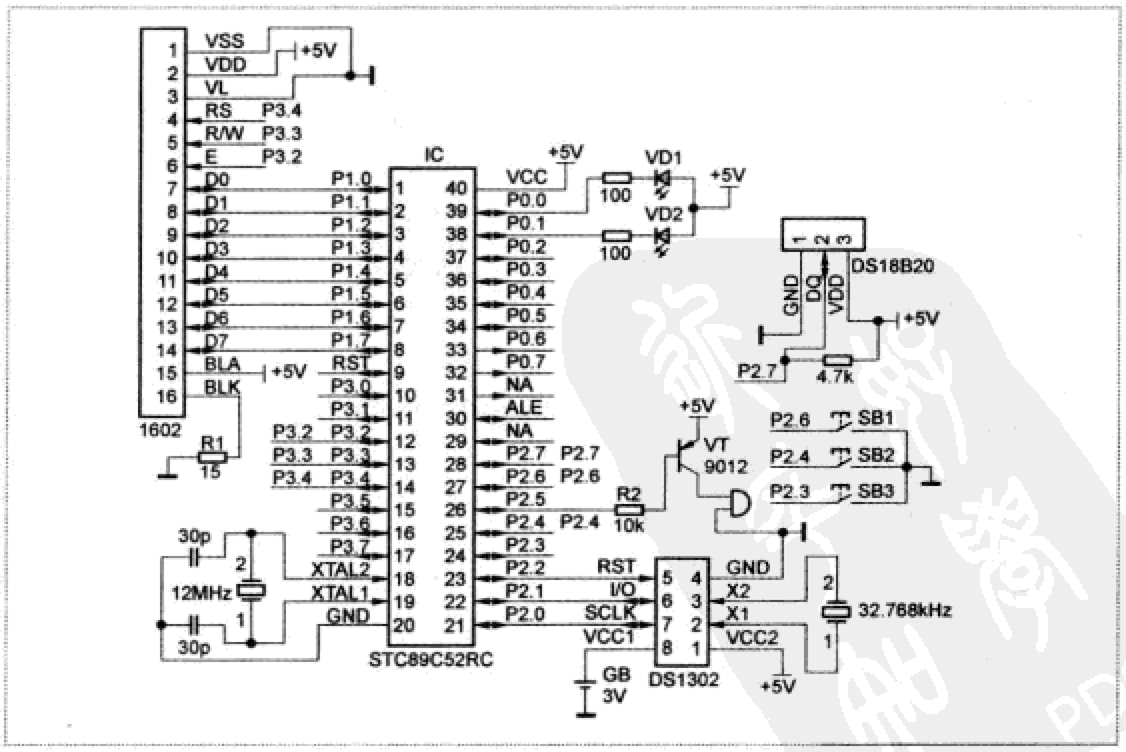
现在习惯于使用电脑键盘敲打字符，突然有事需要挥笔洒墨，但自己长期仅限于按键的动作，甚至连握笔的姿势都忘记了，用完笔之后随手把它扔到桌面上，结果一滚到地，悲剧的事情就发生了……

为什么不用电子元器件制作一个漂亮而个性的笔筒来装住这些易滚动的笔呢？这样既可以让桌面更加整洁，也可以展示自己的电子作品。首先我想到的是用几块洞洞板直接围成一个立方体，如果这样，笔筒仅仅是一个没有“生命”的物品，缺少了其他动感的“表现力”和“活力”，最后我琢磨在笔筒上加万年历的功能，这样就给笔筒赋予了电子功能，既美观又实用。

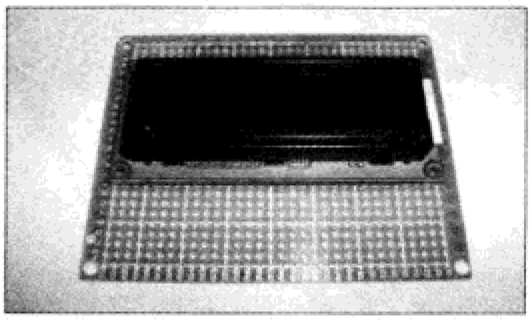
先来看看漂亮的成品图吧，见题图。用几块洞洞板围成一个长方体，正面观看只有一块1602显示液晶屏，看上去很整洁，这个万年历功能除了一般时钟具有的年、月、日、星期、时、分、秒的显示之外，还添加了实时温度的显示功能。我又扩展思路，在此基础上加上一个切换显示的信息，先显示时间和温度信息，过后切换第一行信息用英文显示温度提醒的语句，如“a little cold now”、“It’s hot！”等反映温度高低的提示语句，还有用英文显示早上好、中午好、晚上好等提示语句。看到只能显示英文，于是我又添加了一个很有中国风味的农历提示功能，每逢我们中国重要的传统节日，它就会显示相关的信息。如果当日不是重要节日，就改为显示祝愿的字符，还有用字符组成的笑脸形状。整点报时除了用蜂鸣器鸣叫一声之外，笔筒内部左右两侧还有分别为紫色和黄色的LED灯，在内部闪烁提醒时间到来，灯光从洞洞板透射出来，看上去很炫。避免影响睡眠，蜂鸣器设置为从7:00~24:00鸣叫报时，其他时间只有灯光提示。

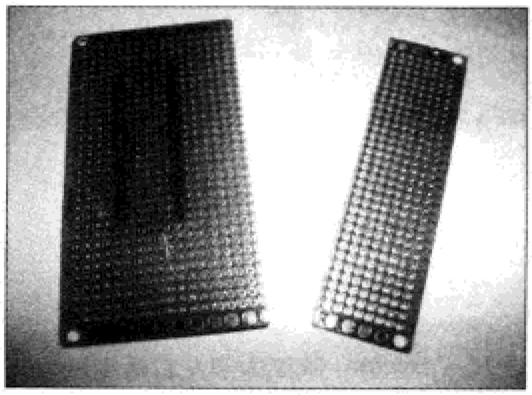
介绍完所有的特点，下面进入制作环节。

电路原理



01 首先在1块7cm × 9cm的洞洞板上的合适位置焊接1602液晶显示屏，位置为偏上方，这样就可以方便观看时间，然后在背面焊接固定好，这块板子用来当作正面的显示。

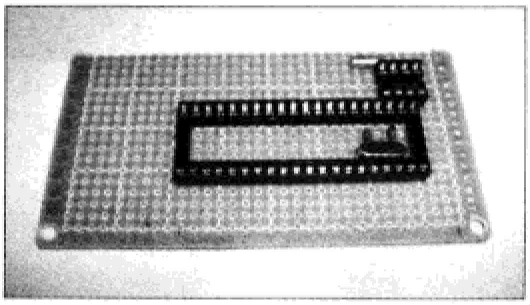




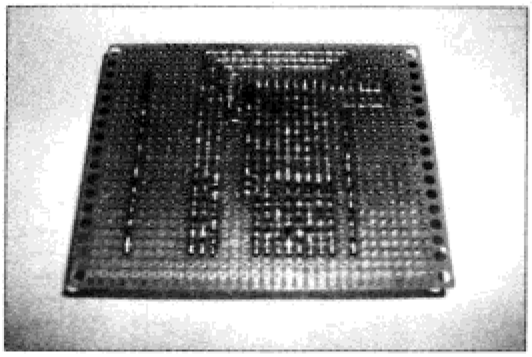
02 在另一块7cm × 9cm的洞洞板上面用裁刀裁出大概5cm × 9cm大小的板子，取出较大的一部分，用作笔筒的底部，焊接主要的元器件。

所需器件列表：

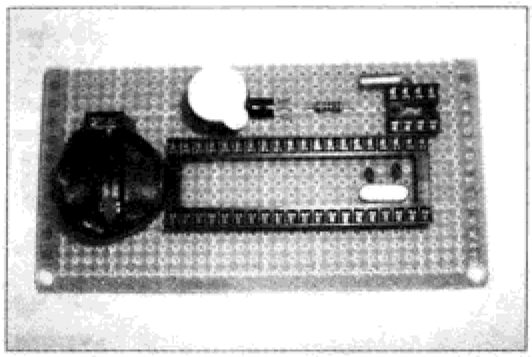
STC89C52RC单片机	1个
1602液晶显示屏	1个
15Ω电阻	1个
30pF电容	2个
12MHz晶体	1个
高亮紫色和黄色LED灯各	1个
100Ω电阻	2个
10kΩ电阻	1个
9012三极管	1个
有源蜂鸣器	1个
DS1302时钟芯片	1块
3V纽扣电池	1颗
32.768kHz时钟晶体	1个
DS18B20数字温度芯片	1个
4.7kΩ电阻	1个
较大的微动开关	3个
5cm × 7cm的洞洞板	2块
7cm × 9cm的洞洞板	3块
40脚IC插座	1个
8脚IC插座	1个
纽扣电池座	1个
弯曲为直角的排针	若干



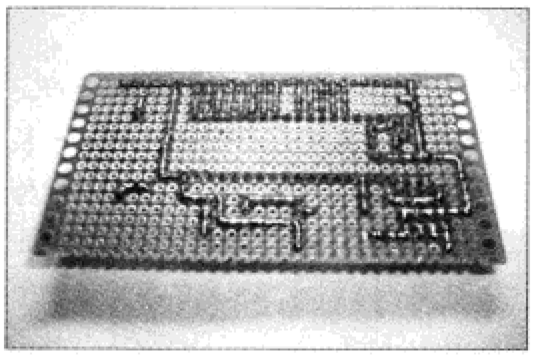
03 然后在5cm × 9cm洞洞板合适的位置上焊接40脚单片机的IC插座，并且依据电路图在18脚和19脚上焊接上12MHz的晶体和30pF的电容。为了减少空间的使用，晶体部分焊接在IC插座的内部。还要焊接上时钟芯片的8脚IC插座，考虑到DS1302时钟芯片的管脚分布特点，IC插座要翻转摆放，使其芯片的控制端口脚对应单片机P2组的P2.0~P2.2三个管脚，此动作可以避免繁琐的布线，并且在第2脚和第3脚上焊接32.768kHz的时钟晶体。



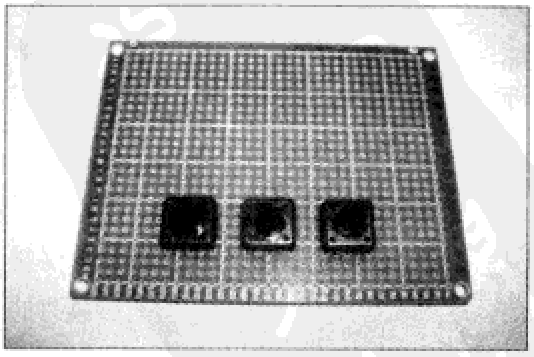
04 在之前焊接1602液晶屏洞洞板的背面把相应的各个数据管脚用焊锡引出来，主要是把1602液晶屏的8个数据口引出来的位置对应上面的单片机IC插座的P1组口，而且要把其他的数据控制线也引出来，这样一来，合并两个部分的时候就可以避免焊接时要转弯的麻烦。还有要在背面焊接上15Ω的液晶屏背光限流电阻，这样做就可以解决正面元器件过多的问题了。



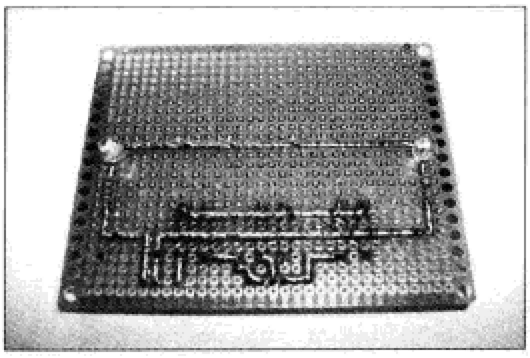
05 在底部的洞洞板上，按照电路图所示焊接上其他元器件，在合适的位置焊接上DS1302的后备电池插座，还有蜂鸣器的驱动电路。



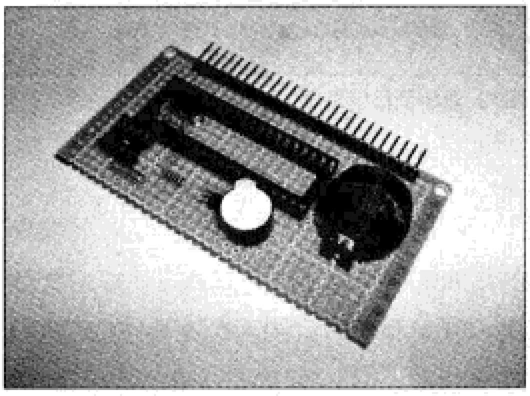
06 然后在背面用焊锡连接好各个管脚对应单片机的I/O口，这样就完成了大部分的工作了。注意检查各个管脚是否焊接正确，一定要确定焊接正确，否则后面的工作就有点麻烦了。



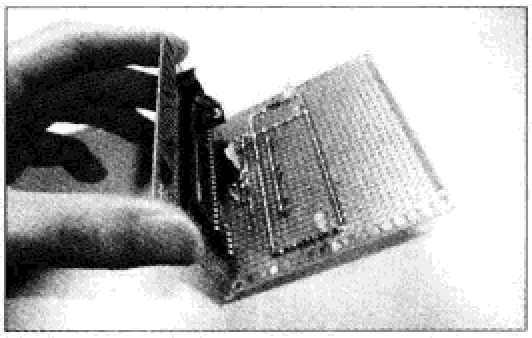
07 现在要完成背面构造的部分，正面部分很简单，如图所示，在偏下的中央位置焊接上3个较大的微动按键，因为不经常调节时间，就把它隐蔽在背后了。这样还可以避免平时误触导致时间发生偏差。



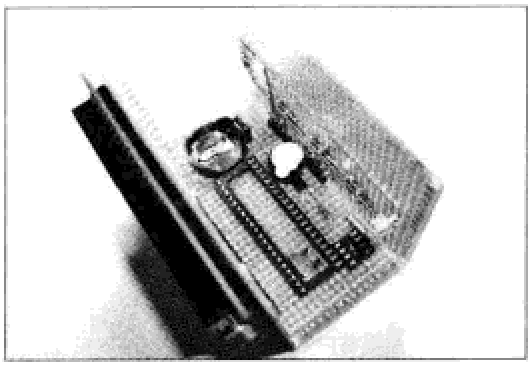
08 还要在背面左、右位置上焊接高亮的紫色和黄色LED发光二极管，经过个人长期的实践发现，紫色和黄色的灯光配合绿色的纤维洞洞板效果非常好。当然，你要有更好的想法，可以改变一下LED灯的颜色，然后焊接上100Ω的限流电阻，再用焊锡把线路引到单片机相应的I/O口位置上面。这样待到整点报时的时候，LED灯在内部闪烁，投射出来的效果很棒！



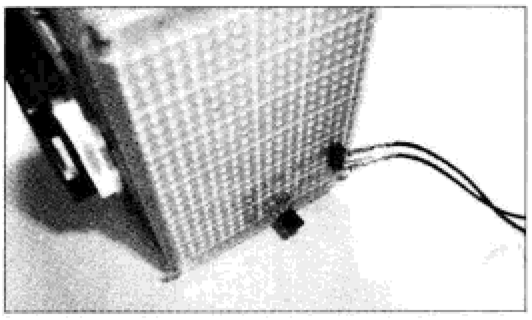
09 接下来的就是连接部分，在对应的位置上焊接弯曲90°的排针，用焊锡固定好，就可以进行接下来的工作了！



10 先把背面做好的部分和底面之前焊接好的排针进行连接，这个部分一定要确保排线焊接固定好，还要在固定之前确保2块板子形成90°的直角，你可以用一本较厚的书压住边缘来焊接成直角。

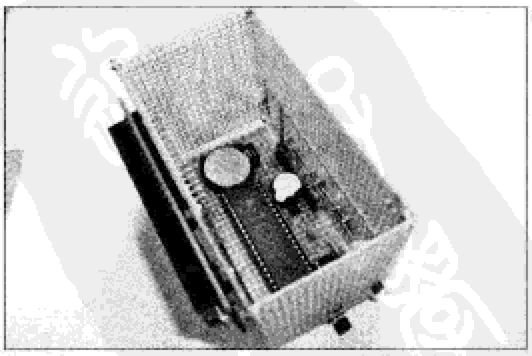


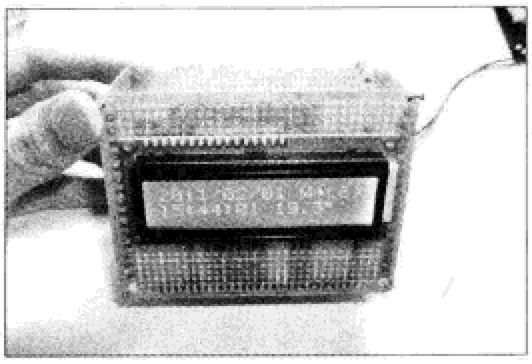
11 同理，用同样的方法焊接正面液晶屏的部分，也要形成直角焊接，这样正面和背面就达到平行的状态了，把接线与对应的单片机管脚连接好，确认无误。然后在里面的插座上放上单片机、时钟芯片、后备电池。



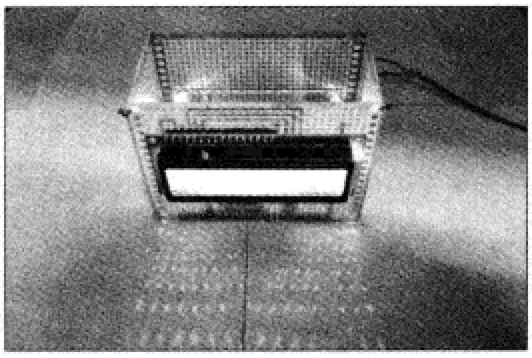
12 接下来的工作就简单了，先在一块5cm×7cm的洞洞板上，按照电路图所示焊接上DS18B20数字温度芯片的电路部分，要把温度芯片焊接在外面，预防里面的芯片发热而导致温度的测量有误差。同时在旁边焊接上三针的排针，用以接入电源供电工作。然后在底部把温度芯片的管脚连接在P2.7口。最后用细小电线，如网线等，捆绑在右侧空缺的部分，将板子固定好。

13 同理，左侧部分也是要把一块5cm×7cm的洞洞板用网线捆绑起来固定好，左侧的洞洞板主要用来作固定使用，没有焊接器件，固定好了后，一个盒子的形状就形成了。主要把单片机的数据传送端口的两个引脚引出来（即P3.0口和P3.1口），方便以后对作品的程序更新，这样，作品的硬件制作部分就宣布完成了。





14 在电源输入的排针地方插入5V的直流电源后，就可以正常显示了，图上所示的是显示时间日期的信息，至于农历和其他的提示部分是如何显示，我会在后面的程序讲解中再阐述。还要在笔筒里面垫上一层较硬的薄板子，这样就可以把我们平常乱扔的笔放进刚刚制作好的笔筒里面了。



15 整点和半点报时时，蜂鸣器鸣叫一声，同时内置的高亮LED灯开始闪烁，灯光通过内部透射出来的效果，一紫一黄的，非常绚丽。

程序讲解

这个制作的硬件焊接部分并不难，只要静下心慢慢地一步一步焊接即可，最主要的还是在程序的编写上。

制作的主要部分是在1602液晶显示屏，因此，主要的问题还是如何驱动这个液晶屏。液晶屏的使用跟大多数的芯片使用都差不多，也都要进行写入指令和写入数据，至于如何写入，可以上网查找一下数据手册或者相关的写入指令和写入数据程序。用单片机采集时钟芯片DS1302的数据和DS18B20温度芯片的数据之后，然后在液晶屏相应的位置上写入采集来的数据，就可以显示出温度、年、月、日、时、分、秒和星期的信息了。这些数据的显示效果如图16所示，显示的信息为：2011/09/12 W→<6> 20:05:09 27.4°，其中W就是Week的简写，这里表示的是星期六。如果一直都是显示这些信息的话，相信大家都会觉得不过瘾，那么如何显示更多的信息呢？这就要用到切换显示了，先把要显示的内容编写成几个部分，然后在中断程序中判断什么时候显示什么信息，如图17、图18所示。在20s后就会每隔5s切换显示第一行的内容，根据实时时间而用英文显示早上好、中午好、晚上好，会根据实时温度而显示相应的字符。

如果觉得显示的内容还不过瘾的话，下面还可以加上切换显示重要节日的信息，上网查看一下日历上的重要节日，然后编写一个专门判断显示节日的函数，就可以显示国际上的重要节日了。由于国际上的节日用的是公历，而我们中国的传统节日都是使用农历计算的，因此，为了加上一点中国风的味道，我还在程序上增加了一个判断农历信息的函数。关于农历的转换也比较复杂，这部分的程序我也是在网上查找相关资料后修改而得的，经过验证，节日显示无误，如把时间调到未来的9月12日，显示效果就如图19所示，由于1602液晶屏只能显示英文字符，所以只能用英文显示出中秋节的信息。如果遇到当天不是重要的节日，就会自动切换显示为：Have a good day! …(*^__^*)…用字符组成一个笑脸，提示你微笑着过好每一天。由于DS1302需要后备电池来保持时间的准确性，一旦后备电池没电就需要重新初始化时间了。因此我在程序上写了一个同时按下加、减键初始化的函数，一旦发现没有时间显示了，就可以进行这个操作了。

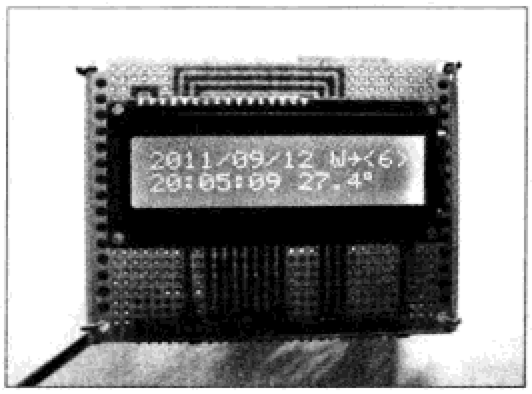


图16 显示时间和温度信息

图17 显示实时时间状况的英文提示符

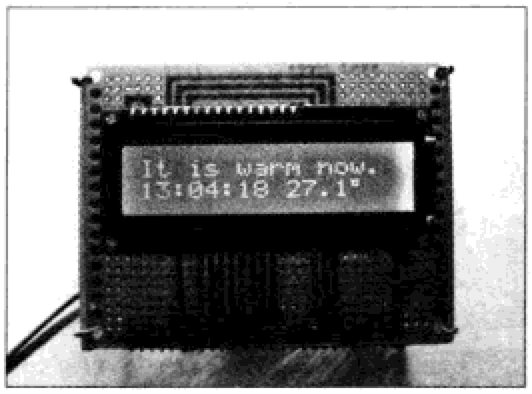


图18 显示实时温度状况的英文提示符

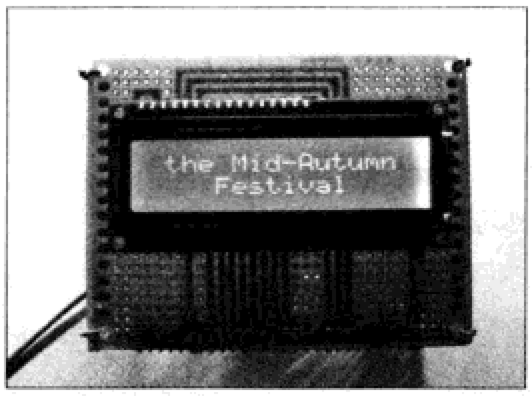
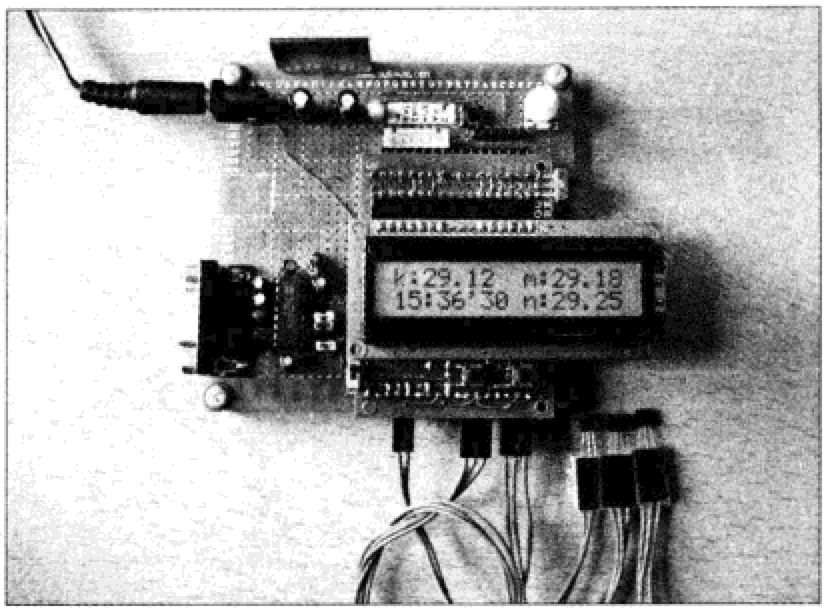


图19 显示节日信息

报时部分就不仅仅是采取之前惯例的用蜂鸣器鸣叫了，还加入了一个灯光效果，就是利用内置的两个高亮LED灯进行灯光提醒，这时候的灯光闪烁就不能采取CPU延时的方法了，要采取定时器中断的方式，才能防止在灯光闪烁的同时影响了时间的准确性。一旦时间到达整点或者半点，除了鸣叫一声，内置的LED灯还会延迟闪烁一段时间，为了防止晚上影响睡眠，蜂鸣器的鸣叫设置在7:00~24:00之间，在其他的时间段只有内置的灯光闪烁提醒。为了防止灯光效果的视觉疲劳，内置灯光的闪烁效果没有设置得过长，只闪烁几秒，用以提醒我们时间宝贵，不要浪费时间。

◎卫小鲁

再做一个 Arduino 简易扩展板——多路测温



使用DS18B20测温已经是老生常谈，这个使用单线总线的测温电路外表和接线极其简单。可是要在单片机上使用也少不了编程，而且它是利用脉冲宽度来判别0和1，对时序有严格要求。如果设置不当，就不能成功测温。但是在Arduino上使用，借助扩展类库OneWire，使用几个公有成员函数，就可以很容易地做成多路测温装置。这次做的扩展板可以接入3个测温元件，同时利用定时器timer2实现计时功能，完成后的外观见题图。

元件及制作

此扩展板的电路原理图如图1所示，制作所需的元器件及作用见表1。

最重要的是必须把洞洞板焊盘面朝上安装，元件都焊在焊盘面上，这一点不合常规，但因为要焊装连接Arduino主板的插针条J1、J3和J4也只能这样了。在扩展板下方焊装了几组弯针J5，以便DS18B20插接到电路板上。其中插座、直插针、弯插针、测温元件和杜邦线外观见图2。

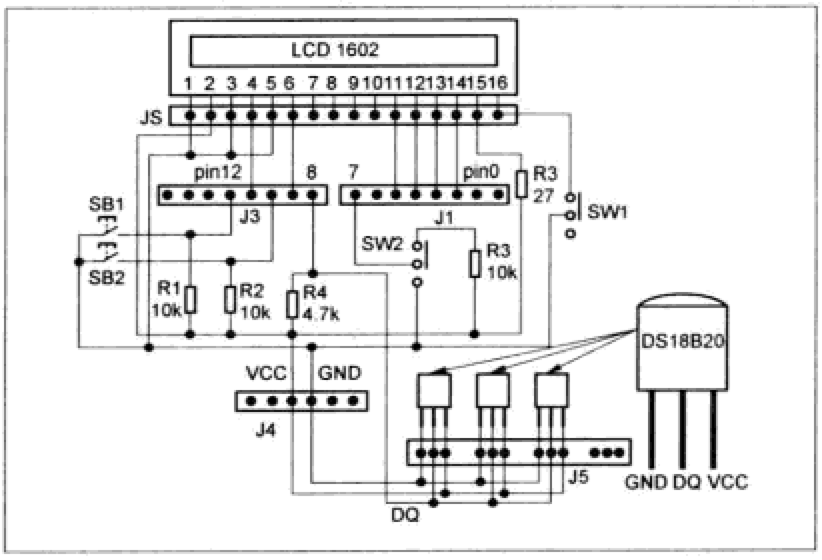


图1 电路原理图

表1

元器件	作用
5cm×7cm洞洞板	焊接元器件，使用插针将它和Arduino主板连接
1602字符液晶模块	5V 黄绿或蓝白均可，要焊上90° 弯排针以便和扩展板的排座插接
调校时间的轻触按键SB1、SB2	调校时间
微型拨动开关SW1	液晶背光开关(用于黄绿液晶)
微型拨动开关SW2	测温方式选择开关
10kΩ电阻R1、R2	引线或贴片电阻，SB1、SB2的数字输入脚上拉电阻
10kΩ电阻R3	引线或贴片电阻，SW2数字输入端的下拉电阻
4.7kΩ电阻R4	引线或贴片电阻，测温元件DS18B20的上拉电阻
16孔插座条JS	从40孔2.54mm弯脚排针座截取，用来插接液晶模块
插针条J1、J3	均为8针，对应I/O板的排针座J1、J3
插针条J4	6针，对准I/O板的电源排针座,从左至右的引脚分别是空、空、VCC、GND、GND、RST（未用）
弯针条J5	用来连接测温元件DS18B20各脚导线
DS18B20	测温传感器，引脚接线如图1所示
两头带插座的杜邦线	用来连接测温元件和扩展板

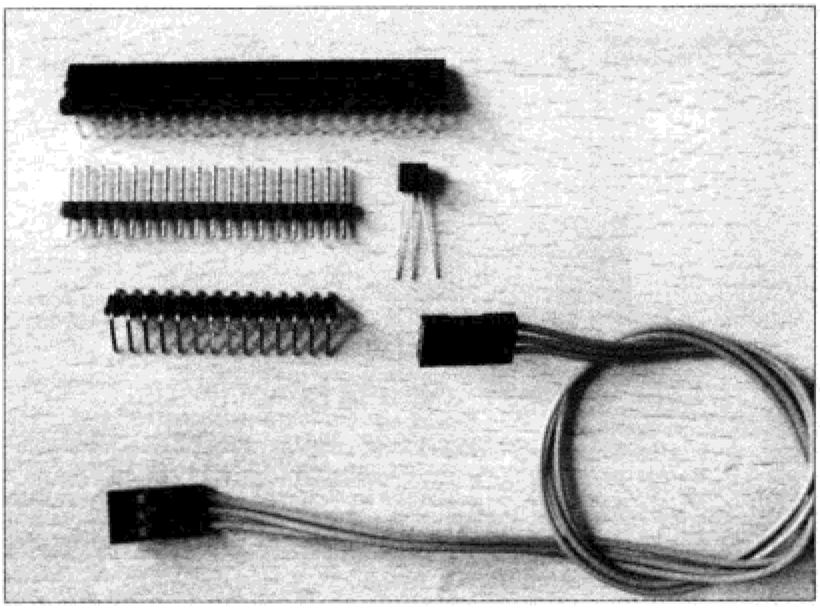


图2 插座、直插针、弯插针、测温元件和杜邦线

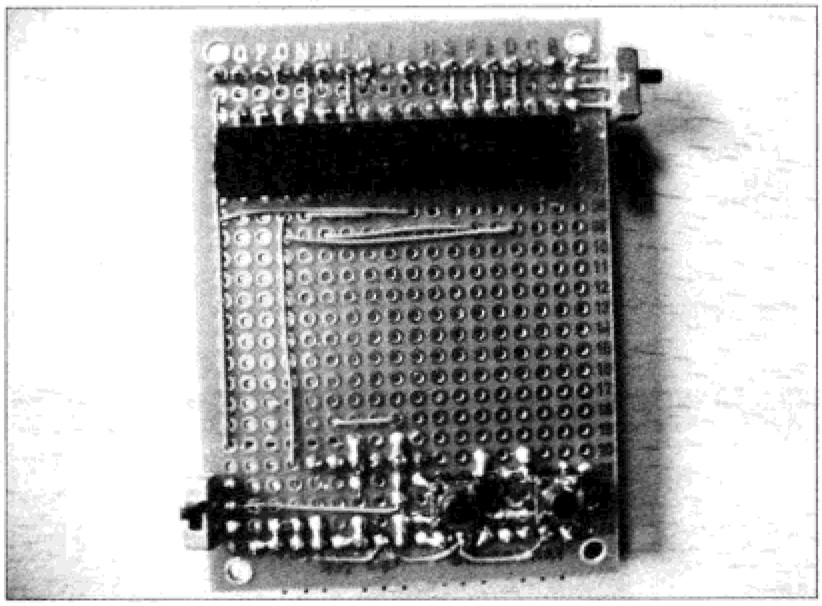


图3 扩展板焊盘面

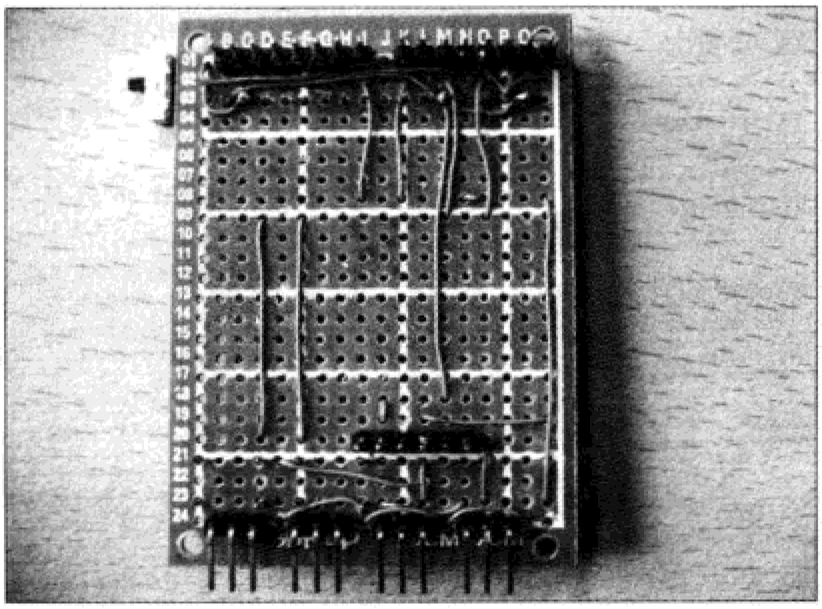


图4 扩展板无焊盘面

安装时，可以把J1、J3、J4先插在Arduino主板上，然后和洞洞板焊接，焊接这类多脚元件最好不要顺序焊接，而是跳跃式的焊接，以避免洞洞板局部过热。接着焊接液晶插针和洞洞板上的液晶插座，焊好后把它们插上，再在洞洞板下方未被液晶遮挡的空余位置先固定SB1、SB2、SW2，拆下液晶把它们焊好，再焊J5，最后焊接各条连线和电阻。焊接完毕如图3和图4所示。

功能简介

硅三极管的测温元件DS18B20内部其实很复杂，它是用温度系数振荡器的原理测温，外部仅有3个引脚，其中GND接地，信号脚DQ接到pin 8。当使用2线接法时，VCC可以空着不接，这时DS18B20的工作电源从信号线获取（寄生电源），信号线为高电平时同时也给内部电容充电，信号线为低电平时由内部电容供电，它省掉一根电源线固然方便不少。但是如果信号线长时间为低电平，它就不能正常工作了。而采用3线接法时，VCC接电源正极，DS18B20就始终有稳定电源供电（其实它也可以采用就地供电的方法，不一定从单片机系统的5V电源拉线过去）。两种方法编程上有差别，下文再作详解。

因为使用的是单线总线的测温电路，所以可在同一根信号线上挂接多个DS18B20，各自独立测量温度而互不影响。当然你也可以让几个DS18B20分别使用各自的信号线，这样占用单片机的接口就比较多，也就失去了单线总线的意义。3个DS18B20连接在一起，其中2个是3线接法，一个是2线接法。无论采用哪种接法，上拉电阻R4是必不可少的。为了显示测温读数，还需要接上字符液晶1602，接法与本刊上期介绍的简易数字钟扩展板中的相同，为了简单方便，省掉了对比度电位器，让1602工作在最大对比度状态。

小开关SW2是工作方式选择开关，若它连接上方触点则pin 7为高电平，对应于批量转换的测温方式，适合于DS18B20全部使用3线接法，这时是每2s启动一次3个元件依次转换测温，下一秒显示3个测温结果，若其连接下方触点则pin 7为低电平，对应于循回检测方式，适用于2线或3线系统，这时是每秒钟启动一个元件测温，下一秒读取它的测温结果并显示，然后启动另一个元件测温，循环进行。

在本刊上期的简易数字钟文章中提到即使不用DS1302实时时钟芯片，只利用定时器timer2中断也能构成一个比较准确的电子时钟，这次我们就把这个电子时钟加进去，以便进行定时测温。SB1、SB2是时间调校按键，用来调整时、分、秒数值以及启动计时，这两个按键分别接有10kΩ上拉电阻R1、R2，R3则是SW2的上拉电阻。

程序部分

程序可分为两部分：电子时钟程序部分——计时和定时启动测温，测温程序部分——启动DS18B20测温并在LCD上显示结果。

这次我们使用Arduino扩展库中的MsTimer2制作电子时钟，通过它可以非常容易地产生整数毫秒中断，而且由于MCU使用外部晶体，定时是很准确的。我们就是用1000ms中断一次来实现秒定时，这样的话其他问题就很好解决了。

具体方法

先到网站http://www.arduino.cc/playground/Main/MsTimer2下载MsTimer2.zip，然后解压到电脑的Arduino编程平台的libraries文件夹下的MsTimer2文件夹中。解压的文件有：MsTimer2.h、MsTimer2.cpp和一个文件夹examples。

在编制程序sketch时，文件头部增加#include<MsTimer2.h>的语句，就可以在程序中使用控制timer2中断的函数了（共3个）：

MsTimer2::start( )；//开启timer2

MsTimer2::stop( )；//关闭timer2

MsTimer2::set(unsigned long ms,void (*f)( ))；//中断响应设置

以上函数都是针对MCU内部功能而非外部元器件，所以使用双冒号表示它是MsTimer2类的函数。中断响应的第1个参数ms是中断间隔毫秒数，第2个参数(*f)( )是需要在中断时执行的功能函数。

这样使用timer2定时器中断比起直接编程容易多了，因为2次中断之间的时间很长，所以中断函数可以处理较多的任务，我们把判断时、分、秒、启动测温和读数都安排在这里进行。

为了使用DS18B20测温，Arduino的扩展类库中有一个专门针对它开发的OneWire类,里面包含了操控DS18B20所必要的各种功能函数(2.0版下载地址http://www.pjrc.com/teensy/td_libs_OneWire.html）。

之所以能够在单线总线上识别每个DS18B20，是因为每个DS18B20都具有一个包括器件识别码（1字节）、序列号（6字节）和CRC校验码（1字节）共8字节长的ROM，其中的序列号就是它唯一的身份证，它就代表了具体每个DS18B20的地址。开始时MCU在数据线上发出低复位脉冲，然后恢复总线为高，随后DS18B20发出响应脉冲，MCU发现有响应脉冲后再搜索，按位逐个取得器件的序列号，也就是器件地址，再对各个器件发出转换命令进行测温，由每个DS18B20测温并把结果保存在自己的RAM中，经过转换时间后（随分辨率不同，94~750ms），由MCU按地址读出每个DS18B20的测温结果。

为实现上述功能，在OneWire类中的函数主要以ds作为程序中的实例，见表2。

表2

函数名	功能
OneWire ds（byte pin）	指定数据总线DQ对应的Arduino板数字量引脚的pin号
ds.search(byte *addr)	搜索器件，若返回0说明未搜到或信号短路，搜到则返回1，把搜到的DS18B20的ROM数据存入addr中（程序中必先建立addr数组）
ds.reset( )	复位，每次操作前要向数据总线发出复位脉冲，等待DS18B20回应，如有回应，此函数返回1，可进行后续操作，如返回0说明无器件或线路有问题
ds.select(byte *addr)	选器件，针对器件的序列号选取,事先用search取得序列号放在addr数组内
ds.write(byte v,byte power)	v是待写的数据，写0x44为启动转换，这时2线接线时power要取1,写0xbe为启动读数（随后接着下面的“字节读”函数）
ds.read( )	字节读DS18B20，实际就是读出DS18B20内的8个暂存器RAM，一次读一个，在暂存器0和暂存器1中分别保存有最近一次测得的温度低8位和高8位，分两次读出
ds.skip( )	跳过搜索器件，书上说仅适用于使用1个DS18B20时。但是根据手册和实验证明，多个元件也可以用来同时启动测温转换，而省略select操作。但如果是2线接线情况硬件要采取额外硬件措施，如元件全部为3线接线是可以用的

还有一个MCU计算CRC校验值的函数，OneWire::crc8(byte *addr,7)，用它计算搜索到的器件CRC校验值，在程序中判断是否与器件的ROM最高位的已有的CRC值相等，如不相等则有问题。

利用以上函数就可以实现多点测温，对于位读写的具体脉冲宽度就不必考虑，函数内部已经调整好了，直接调用就行了。

多点测温的步骤是：

1. 测温之前需要先搜索器件取得序列号，有几个DS18B20就要搜索几次。完成搜索后只要不断电就不必再次搜索；

2. 总线复位；

3. 发出温度转换命令，进行测温；

4. 经过必要的转换时间后，读出测温结果。

但是，对于使用多个DS18B20测温，是转换一个后直接读数还是先顺序转换延时后再顺序读数呢？手头的参考书上都是以单个元件举例，没有说明多元件的情况。根据手册的说明可知：如果是采用3线接法，2种方法都可以，还可以通过skip( )函数实行同时转换。如果所有器件都采用2线接法，在一个器件进行测温转换的过程中，信号线DQ应该一直保持为高电平。如果这时又命令其他器件转换，由于信号线DQ电平的拉低会破坏前一个器件的电源稳定而使得转换失败，所以在这种情况下，只能是转换一个后直接读数。

本制作有3个DS18B20，通过SW2选择可使用2种方法测

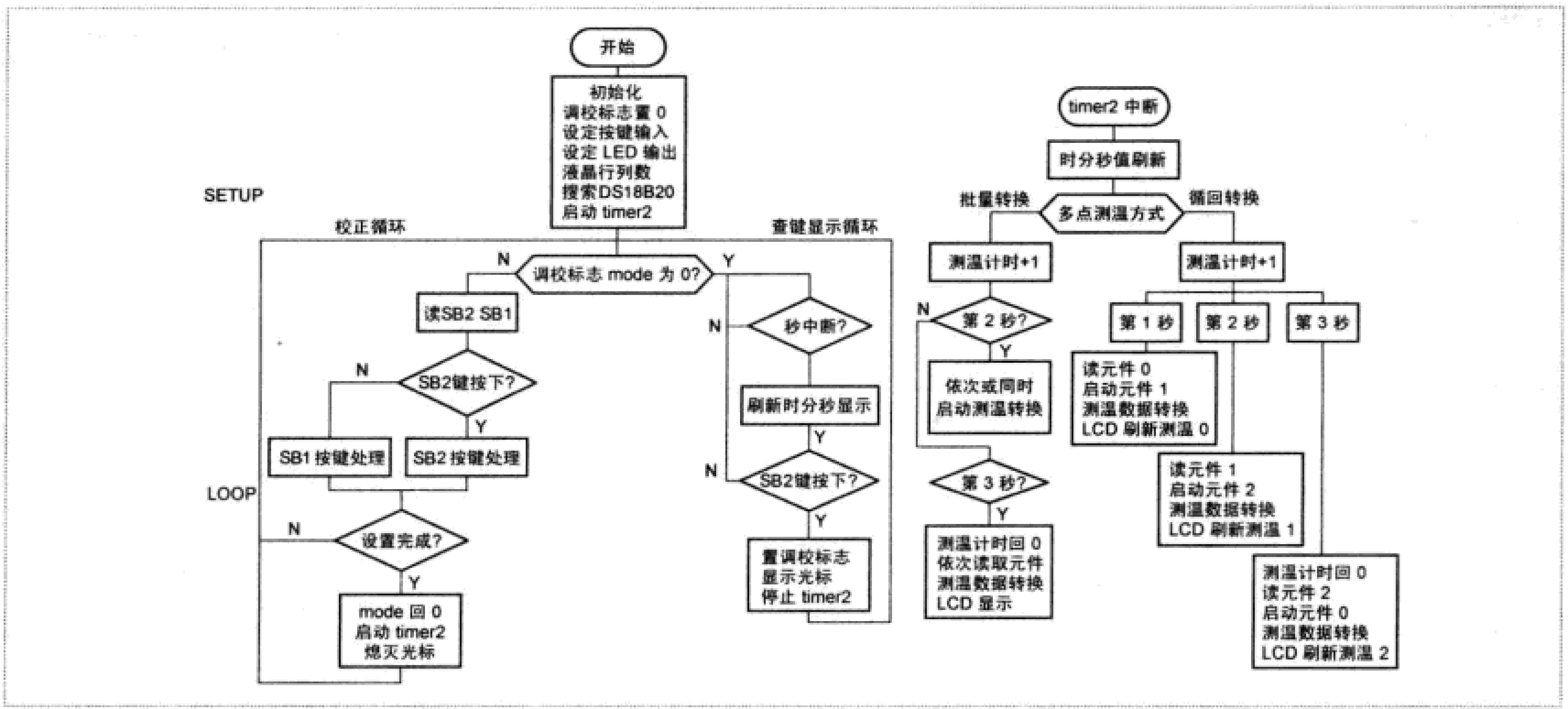


图5 程序流程图

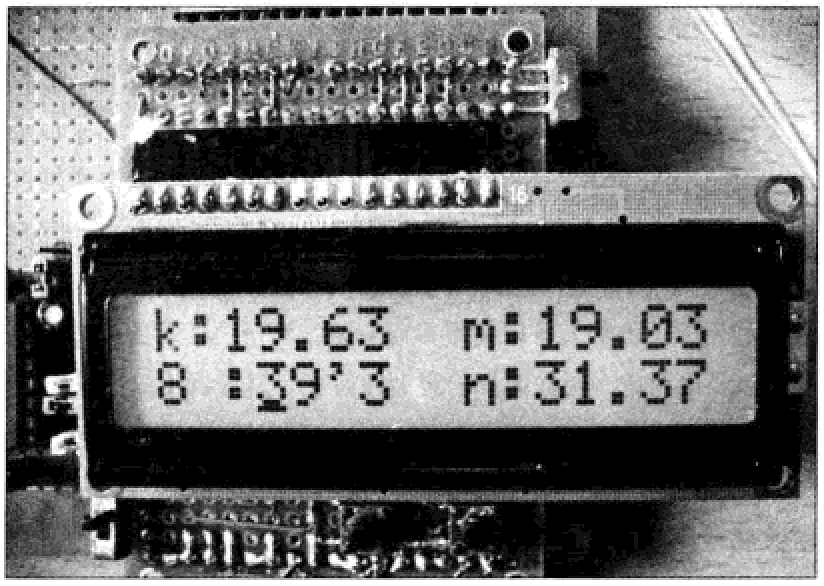


图6 调节时间

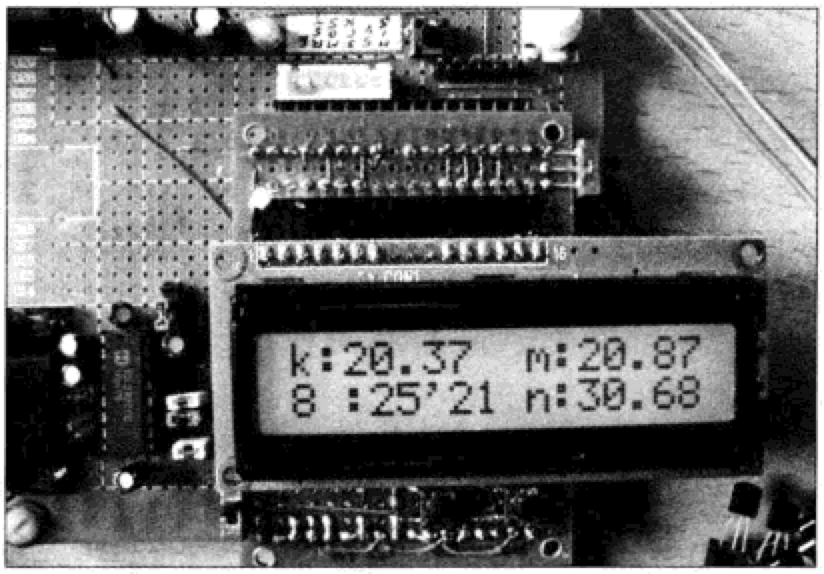


图7 显示测量的3点温度

温。测温周期使用timer2每秒中断来控制。虽然说中断响应后执行的操作宜少不宜多，但是因为现在中断周期长达1s，器件完成较多的操作没有问题，程序流程如图5所示。

测温后的数据转换过程是，DS18B20的测温结果存放在其RAM的第1和第2两个字节中，先低后高，在高字节的前5位，如果温度为正都是0，温度为负则都是1，高字节和低字节拼合成温度值，就是带符号位扩展的16位二进制补码（默认有效数据在后12位），分辨率是1/16，也就是0.0625，测出的温度值乘以它就得到实际温度。为了便于在字符液晶LCD显示，可以在转换为原码后，把温度值乘以6.25，除以100，取整得到整数部分，取余得到小数部分，分别显示就行了。

安装试用

装好硬件，载入程序，就可以使用了。启动后，先用SB1和SB2校对时间，按SB2在LCD的下行左端出现光标，用SB1调校小时位，类似操作分别用按键SB1和SB2调整好分钟和秒位，如图6所示，最后按SB2光标熄灭，时钟走起来。然后根据SW2的设置开始测温，若SW2连接上方触点，每秒钟用1个DS18B20测温，结果在液晶上显示，3个测温值分别用m、 n、 k表示，如图7所示。SW2连接在下方触点，则每3s测温一次。图6和图7中所示的n点的读数是电源稳压电路散热片的温度，所以明显较高，另外两点所示温度差别不大。因为DS18B20虽然分辨率比较高，但准确度为±0.5℃。本文所需的程序可到《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）上下载。

自制数字示波器 安装与调试篇

◎吴汉清

在上期杂志中，我介绍了自制数字示波器的电路原理和程序设计部分，但是完成了这些内容只是走完了数字示波器制作的第一步，要使示波器达到设计要求，安装和调试部分也非常关键。

元器件选择

主要元器件的清单见表3。

经过试验，我发现在工作电压为5V时，单片机ATmega16和ATmega16L在时钟频率为20MHz下均能正常工作。因此，如果你手头只有ATmega16L也可以使用。

IDT7205如果使用PLCC封装的芯片，请注意引脚编号不同。

干簧继电器也可以选用其他型号的，只要工作电压是5V，闭合电流小于20mA即可。

机箱我选用的是成品塑料机箱，你也可以用其他样式的，或者自己用有机玻璃DIY。

显示屏和ADS830E的两块转接板是必须要用的，不然无法在万能板上安装，可以设法和元器件一起采购。

显示屏的品牌很多，你很难买到和我一样的品牌。但有一点要注意，驱动控制芯片一定要是ILI9325的，如果不是，你就要修改程序了，不同的芯片即使是同一系列，驱动程序也往往不兼容。即使驱动芯片一样，不同品牌的显示屏引脚编号也可能不一致，接线时要仔细对照。另外有一点提醒一下：我买的显示屏的4个背光二极管是并联的，我是把它们公共的阳极串接一个电阻（不知道模块内部有没有限流电阻，还是外接一个电阻保险）接到+5V电源，如果你买的显示屏的背光二极管是串联的，要求的工作电压就高了，接到+5V是不能发光的，可串连一个100Ω（电阻的取值使发光二极管工作电流不超过20mA为宜）接到LM7805的输入端，此处的电压约有10V，可以满足驱动要求。

表3

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	TFT显示屏	LCM	2.4英寸320×240 ILI9325	1
2	单片机	IC4	ATmega16或ATmega16L	1
3	运算放大器	IC1	LM6172 DIP8封装	1
4	A/D转换器	IC2	ADS830E	1
5	FIFO存储器	IC3	IDT7205 DIP28封装	1
6	四二输入端与非门	IC5	74HC00 DIP14封装	1
7	+5V三端稳压器	IC6	LM7805	1
8	-5V三端稳压器	IC7	79L05	1
9	微型干簧继电器	K1~K5	PRME15005工作电压5V	5
10	ADS830E转接板		SMT20-0.65mm	1
11	TFT显示屏转接板		0.8mm转2.54mm	1
12	万能电路板		5cm×7cm	1
13	万能电路板		10cm×16cm	1
14	220V电源变压器	T	5AV，输出：7.5V×2	1
15	机箱		自选	1

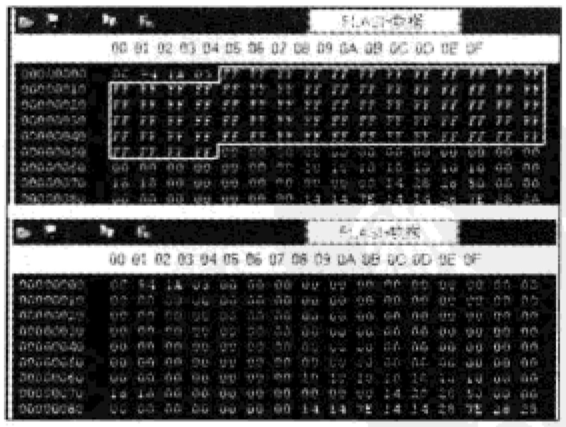


图9 缓冲区对比图

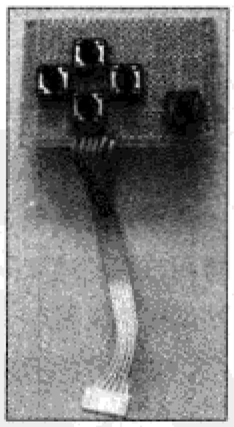


图10 开关单独安装在小的万能板上

安装

安装前先将目标文件dso.hex写入单片机ATmega16，特别提醒一下：用编程器将目标文件调入时要选择“缓冲区预先填充00”选项，否则在显示屏显示字符时会出现色块。如果你用下载线写入文件，则往往不提供该选项给你选，会直接把缓冲区都填入了FF，见图9上半部分，这时你可以手工编辑一下，把方框中的FF全部改为00，结果见图9下半部分。

5个按钮开关单独安装在小的万能板上，见图10。其余的元件除显示屏直接固定在机箱面板上外，都安装在大的万能板上。接线时注意同一单元要一点接地，数字地和模拟地要分开。三端

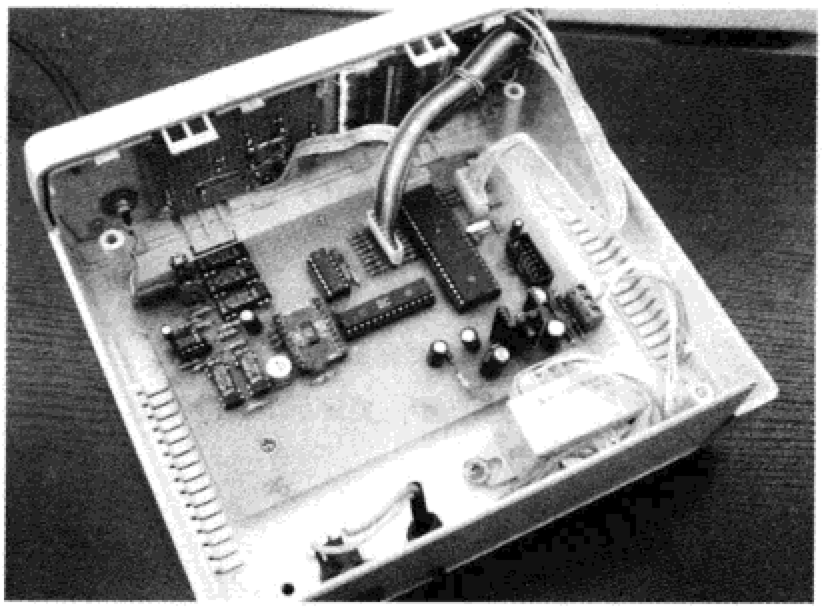


图11 安装完成的内部结构

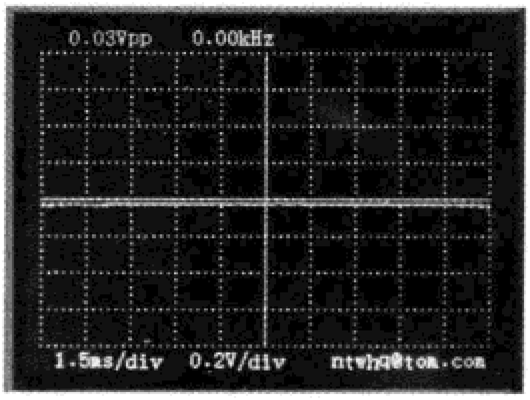


图12 水平扫描线与中线未重合

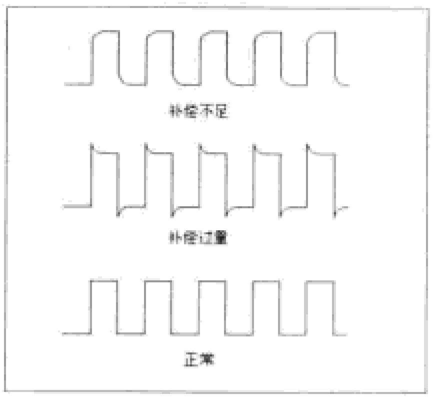


图13 补偿电容与方波波形的关系

稳压器LM7805要加一个小的散热片。

机箱的面板根据显示屏的大小、按钮开关和BNC插座的安装位置开孔，面板上的标记可打印在一张纸上，再用1~2mm的透明有机玻璃做一块尺寸一样的面板（对应显示屏的位置不开窗口，正好做防护屏），再把打印好的纸夹在两层中间，用螺丝固定好后，面板就做好了。

按钮开关电路板是直接用4个螺丝固定在面板上的，显示屏可用热熔玻璃胶固定，把显示屏在窗口摆正位置后，在4个角用热熔玻璃胶固定一下就可以了。

安装好的示波器内部结构见图11。

调试

如果安装时没有接线错误，元器件没有质量问题，调试还是比较容易的。

调试分4步进行：

1. 各单元先不接电源，测量电源部分输出电压是否正常，正常后再接通各部分的电源。

2. 检查显示屏工作是否正常，接通电源，显示屏初始化后先是全屏显示白色闪亮一下，然后显示刻度线和相关数据。如果开机后显示屏没有反应，先检查单片机有没有正常工作，如按动K3、K4继电器的工作状态应该有所改变。如正常再查显示屏的连线和供电是否正常，直至显示正常才能进入下一步。

3. 将示波器输入端信号线短接，调节电位器RP，使其中点电压为2.44V（注意不是1.5~3.5V的中点电压2.5V，因为显示屏垂直方向中点的值是120，120是2.44V电压经A/D转换后对应的值，对应2.5V电压的A/D转换值是255/2），这时候可以看到一条水平扫描线出现在水平中线附近，见图12，仔细调节RP，使得其和水平中线重合。

4. 对衰减器的频率补偿电容进行调整，将垂直灵敏度调到0.5V/div，输入 200kHz、幅度1V的方波，改变电容C2的容量，使示波器显示的方波波形最好，再将垂直灵敏度调到1V/div，输入200kHz、幅度2V的方波，改变电容C3的容量，使示波器显示的方波波形最好。频率补偿电容与方波波形的关系见图13。

装配调试好的数字示波器的使用效果见图14。

源程序和烧写文件可以到《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）下载，制作中遇到的问题或者有好的建议欢迎登录我的博客（http://blog.sina.com.cn/ntwhq）进行交流。

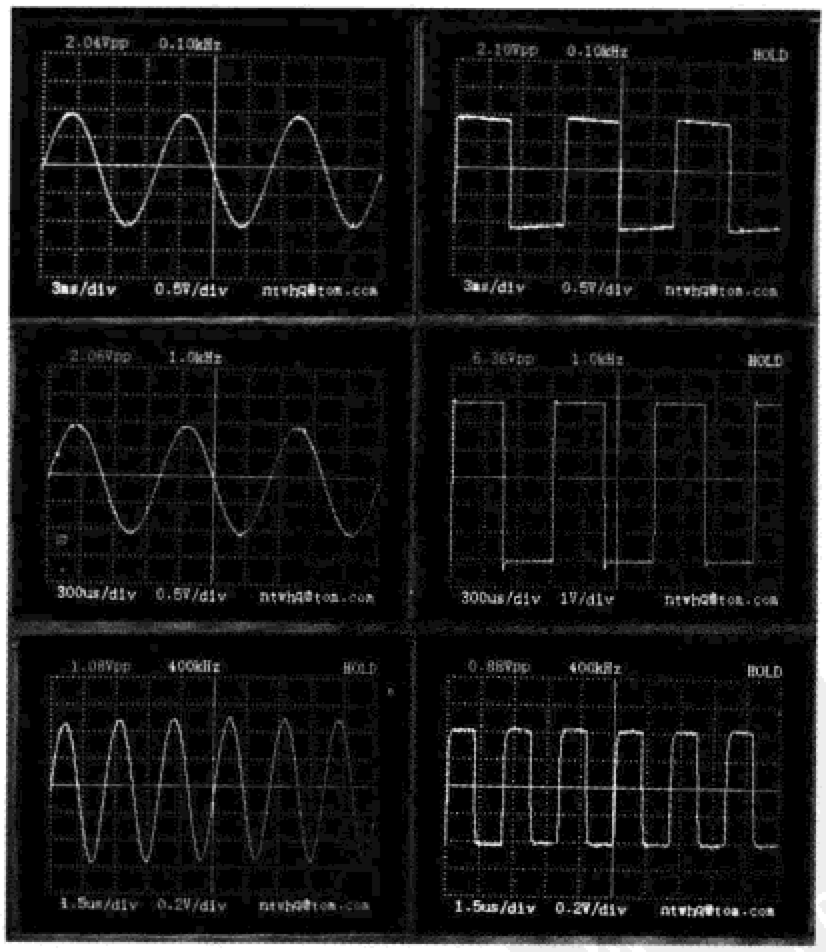
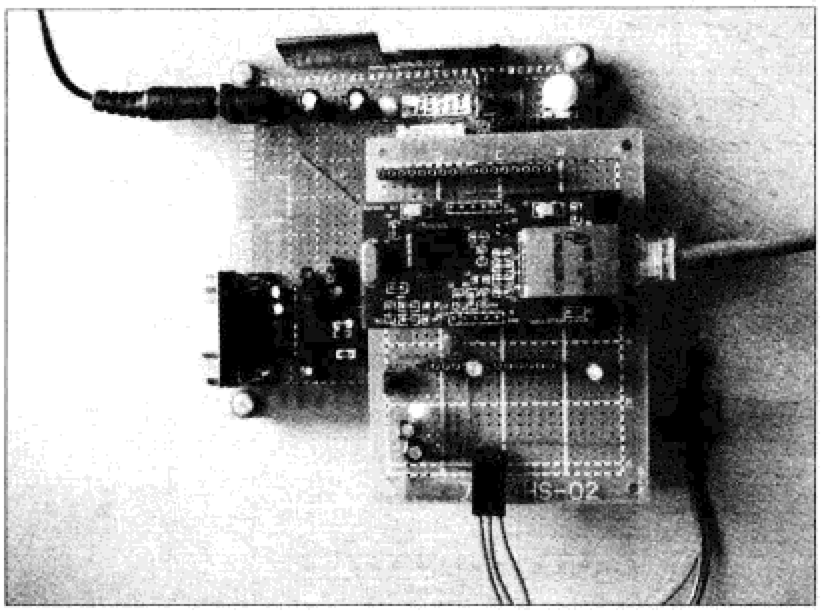


图14 调试好的示波器的使用效果



◎卫小鲁

让Arduino成为一个web服务器

我在本刊今年第4期和第5期分别介绍了通过使用洞洞板自制Arduino扩展板的两个实例——简易数字钟和多路测温，大家可能已经体会到Arduino系统易于应用的优点了，这次我再来做一个以太网扩展板，让Arduino成为一个web服务器！Arduino主板插上网络扩展板的外观见题图。

此扩展板能提供什么服务呢？我给它装上一个大家熟知的温度传感器DS18B20，然后再用普通的透明封装发光二极管做一个简单的光线传感器，把扩展板用网线接入局域网，这样就可以通过浏览器从web网页上访问这个服务器。例如，我做的这个服务器IP地址是：192.168.0.177，那么打开浏览器，在地址栏输入http://192.168.0.177，打开的网页如图1所示，就可以显示出现在的温度是多少，以及此时光照的数值。如果你用手指遮挡住这个光线传感器，再刷新这个网页，就会发现光照数值减小到原来的1%左右。可以看出电脑真是通过以太网和Arduino板互联起来了。

大家也许会很奇怪，网络服务器可是一个十分复杂的设备，单片机有这么大的能耐吗？自己用洞洞板就能做出来吗？当然，使用单片机做的这个服务器不可能提供那么复杂的功能。但是以前即使要用单片机实现一些简单的服务器的功能也是很麻烦的，在8位单片机上用软件来运行TCP/IP协议不太可能。这个制作之所以能够成功，完全是取决于硬件的进步和Arduino开发者的努力。从硬件来说，韩国工程师研发的一款W5100芯片，把复杂的网络协议用硬件的方式固化到该芯片中，用对芯片寄存器和端口的设置代替了复杂的网络编程。但即使这样，设置里边几十个寄存器、端口，也是很麻烦的。由于Arduino类库的封装，使得软件编程应用变得非常简单，几乎成了傻瓜程序。有了这么好的硬件和软件，才使这个制作的难度大大降低了。

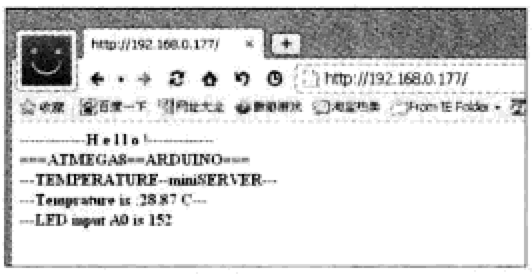


图1 网页显示测量数值

电路原理

电路原理图是参照Arduino网络扩展板的原图加以简化而成的，原图请参考http://Arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino-ethernet-shield-schematic.pdf。虽然W5100芯片并不贵，但是用洞洞板完全照搬原图却非常困难，因为贴片封装的W5100有

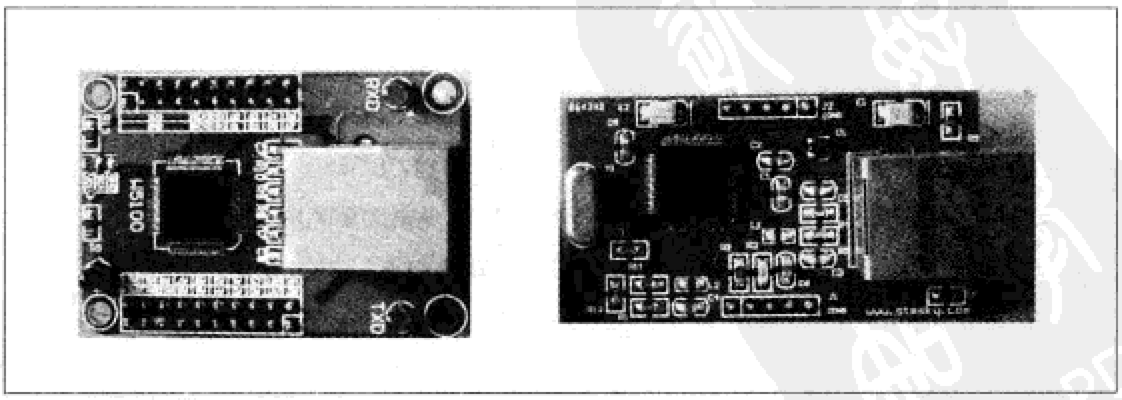


图2 两种W5100模块

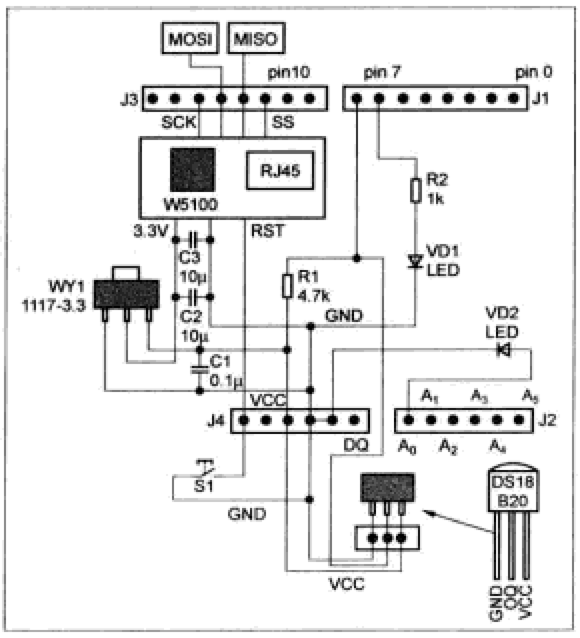


图3 扩展板电路

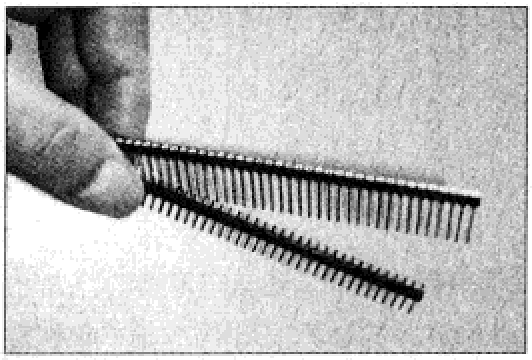


图4 两种插针条

100个密集的引脚，非得用双面板和机器焊接不可，好在网上有焊好芯片和附属电路的模块出售，如图2所示。其中模块可分为两种：一种是使用SPI总线的，引脚较少，如图2中右图所示，另一种是并行地址数据线的，引脚较多，如图2中左图所示。带SPI总线的直接就可以用，带并行线的还要做一点小的改动。

我们要做的只是通过扩展板把模块和Arduino主板连接起来，那样就简单多了。原图中的SD卡部分和网络关系不大，就省掉了，扩展板电路如图3所示，其中J1~J4是插针排，和Arduino主板（I/O板）对应的插座插接。电路图中W5100是指网络模块，上面已经有W5100芯片和外围电路以及带网络变压器的RJ45网线插座，它需要3.3V的电源，由稳压集成电路WY1从主板的5V电源降压滤波得到，而SPI信号线允许和5V单片机直接相连，方便不少。模块和主板的连线也很少，主要是SPI的4根线和主板的复位线，为了方便起见，扩展板上也加了复位按键S1。再就是装了DS18B20的测温电路，以及在J2的模拟输入口A0和地之间的发光管VD2，用作光线检测器。发光管VD1指示工作状态，程序正常工作时，它每秒钟闪光一次。它的工作原理是程序中设了一个timer2定时器，产生秒计时，然后由测温元件检测环境温度，由VD2检测环境光线亮度。W5100模块通过网线侦听网上客户端有没有发出请求——输入服务器网址并回车，如果有的话，则通过SPI总线通知主板上的单片机ATmega8，由ATmega8把最近的测量结果发到网络上，并在客户的网页接收和显示出来，完成一次服务。这个说起来很简单，实际上涉及到对W5100芯片的操作，非常麻烦，只是由Arduino程序把这些麻烦“封装”起来了。

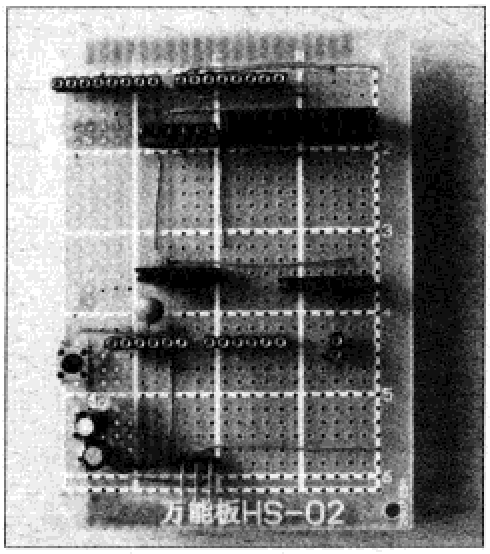


图5 焊接完成的电路板正面视图

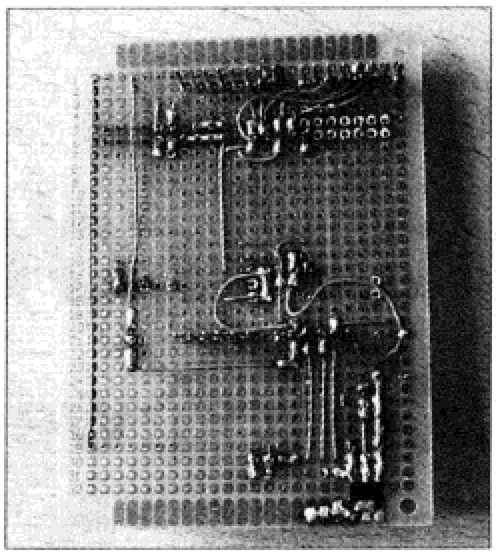


图6 焊接完成的电路板反面视图

表1　元器件列表

名称	数量
9.5cm×7cm环氧万用板	1块
带SPI接口的W5100模块	1个
2.54间距插座条	1个
AMS1117-3.3稳压电路	1个
Φ3透明封装高亮发光二极管	2个
4.7kΩ和1kΩ电阻	各1个
10μF 16V电容2个，0.1μF电容	1个
90° 弯插针	一小段
DS18B20	1个

制作所需元器件见表1。

另外还需要一样特殊的东西：带圆插孔的长插针条，如图4上边所示，下边是普通插针条，原设计使用的是一种单端式插座的长插针条，可是元器件市场里没有找到，只找到了这种，也可以用。因为这次扩展板和前两次的不同，要插网络模块，必须安装直针插座条，洞洞板是焊盘朝下安装的，只能用长脚插针焊接固定。

制作

1. 从插座条上截取两段5个插孔的长度，把模块插上插座，在洞洞板中间的适当位置放置插座条，每个插座条焊一个点，取下模块，把插座焊好。

2. 焊上稳压电路、电容、电阻、开关等元器件，焊好DS18B20引线连接所用的弯插针，然后焊接连线。

3. 在模块插座的下方，把长脚插针条在洞洞板上定位，在洞洞板的焊盘上焊好这些插针，要保持和电路板垂直，焊接动作要快，防止焊锡引起插针之间短路，然后焊好插针上的导线。

完工后的电路板正面和反面分别如图5和图6所示，其中多装了一个供并行线模块用的插座，以方便试验，实际工作时可以不要。

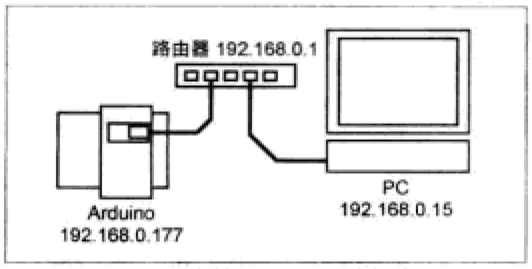


图7 Arduino扩展板通过网线与电脑相连

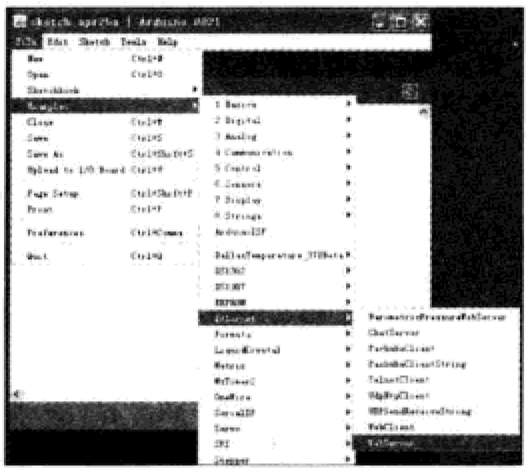


图8 程序中找到webserver实例的位置

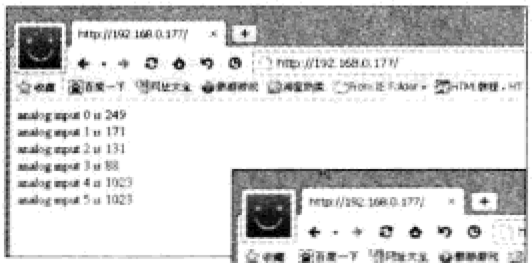


图9 输入扩展板IP后显示测量数据

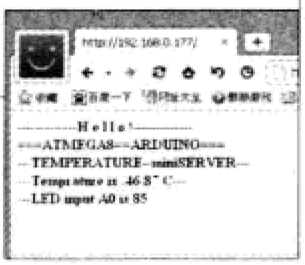


图10 采集信息显示网页

焊接完成后，仔细检查连线正确性和长脚插针，消除可能存在的短路，硬件接线必须百分之百正确无误。然后先不插上W5100模块，把空板插在主板上，通电测试5V电源和3.3V电源是否正常。因为元器件不多，安装检查都很容易。硬件确保正确无误后，插好模块，使用交叉网线分别连接电脑和Arduino扩展板到路由器上，如图7所示。

编程

以太网类库属于Arduino的标准类库，安装Arduino软件时就有，不必单独下载。Sketch程序的框架在Ethernet库的例子中就有，把它拿来改造一番就可以了。不过还是先要了解一下我们要使用的有关函数。全部函数分为Ethernet类、Server（服务器）类和Client类，并非所有函数都要用到。主要用到的有：

◆ethernet.begin(mac,ip,gatewey,subnet)网络初始化设定，其中参数mac是扩展板的mac地址，一个与设备有关的标记，本应如同网卡一样，出厂时已经确定，不过这个模块和扩展板可没有，那就用例子里面的数字，如0XDE、0XAD、0XBE、0XEF、0XFE、0XAD六个十六进制数。ip是扩展板的IP地址，这个要根据你自己的网络路由器指定，例如我使用的路由器网关地址是192.168.0.1，ip就指定为192.168.0.177。gatewey是网关地址，如本例就是192.168.0.1，也可不填。Subnet是子网掩码，就是255.255.255.0，也可不填。最主要还是ip地址，此函数在Setup段中加入。

◆server(port)：server类，建立一个在端口port侦听的服务器，port就用80端口，放在变量声明中。

◆server.begin( ):server类，服务器开始侦听网络，放在setup段。

◆server.available( )：server类的available()，如果有服务器连接到的、可读出其数据的客户端，函数就返回“真”，放在loop段。

◆server.print(data,BASE)：server类的print( )，服务器向所有连接上的客户端输出数据data，可以是各种类型的数值（BASE是数制）、字符、字串，放在loop段，连通了以后就可以用它服务了。

◆client.available( )：client类，表示的是客户端可读出的服务器发出的字节数。

◆client.connect( )：client类，把客户端连接上已经确定地址的服务器，如果连接上就返回true，否则返回false。

◆client.connected( )：客户端连接状态，不管读不读数据，已连接上就返回true，否则返回false。

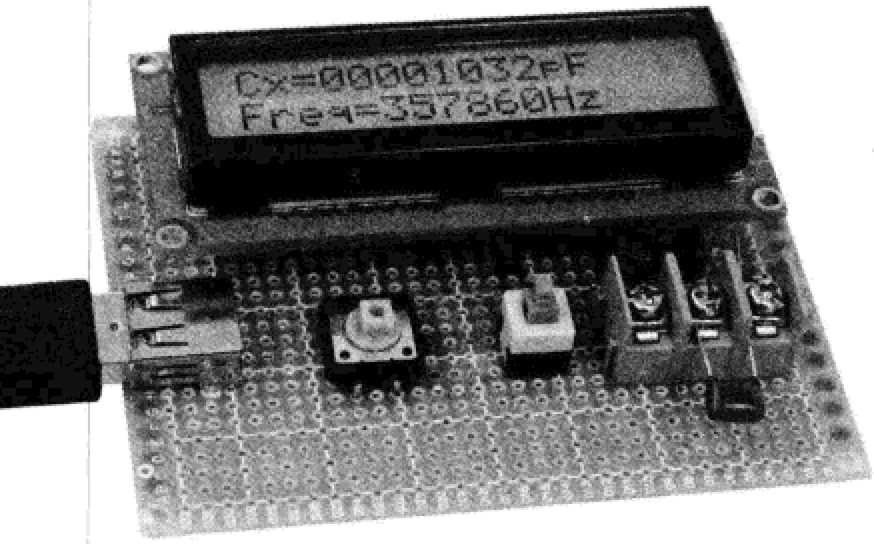
◆client.print( )：客户端向服务器输出数据，但实际上也是向网页上输出数据，实际试验效果和server.print( )相同。

◆client.stop( )：就是断开连接，实际效果和connect( )相反。

为了方便可靠起见，我们还是以Arduino提供的实例为基础编程，首先找到WebServer实例的位置，如图8所示，打开它，要修改的仅仅是变量定义部分的byte ip[ ]={192,168,1,177}，把它改为和所用的路由器网关地址（路由器说明书提供）在同一网段。例如，路由器是192.168.0.1，那么把它改成192.168.0.177。别的先不动，编译后，将程序下载到Arduino扩展板。现在这个IP地址已经被固定进去了。接着打开浏览器，在地址栏输入http://192.168.0.177，回车，稍等一会，网络连接，然后就出现了如图9所示的网页，这是模拟量输入端A0~A5的随机数据，点击刷新，数据会改变。

如果想得到些有意义的数据，例如本文开始介绍的图1所示的温度值、光照值等，还需要进一步编程。主要是增加一个定时器timer2，让它产生秒计时，然后结合测温元件DS18B20的测温程序，按一秒转换、下一秒读数进行，输出的数值转换为十进制整数，具体方法请参考《无线电》杂志2011年第5期《多路测温》一文，然后使用server.print( )输出相关的内容，并在A0口插上LED，读取光线传感器数据就行了。最后再展现一下网页如图10所示。温度怎么这么高呢？我把DS18B20紧贴到W5100的芯片封装上了，这个小东西工作电流能达到180mA，发热还是比较厉害的，所以也别指望用电池供电了。

这个小制作虽然难度不大，还是挺有意义的，现在大家不是热衷于研究物联网吗？假如在冰箱里安装这个制作，再加上电源线和网线，您就可以坐在客厅里用电脑看冰箱的温度了！本文相关的源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。



自制电感和电容测量仪

◎吴汉清

电子爱好者进行制作时经常需要绕制电感，而一般的数字万用表通常又没有电感测量挡，所以无法测量绕好的电感的电感量。本文介绍一种用单片机制作的电感和电容测量仪，可以有效地解决这一问题。

测量仪的主要功能指标：

电容测量范围：1pF~10μF

电感测量范围：0.1μH~1H

测量精度：±2%

显示方式：LCD1602液晶屏

供电方式：USB接口取电

测量电感和电容时显示当前的测试频率值，测试频率范围为：5.03~503kHz

测量原理

本测量仪采用谐振法测量电感和电容，其方法是用谐振回路的谐振特性来进行测量，其测量原理可用如图1所示的电路进行说明。

测量电感Lx时，配用标准电容C1，用Lx和C1组成谐振回路，测量出回路的谐振频率*f*即可计算出*L*x的电感量；测量电容Cx时，配用标准电感L1，用L1和Cx组成谐振回路，测量出回路的谐振频率*f*即可计算出Cx的电容量。

上述测量方法也有一个缺陷：当*L*x或*C*x很小时，谐振频率*f*会很大，测量比较困难，为此我们可以采用如图1所示的改进型电路，分别用L1和C1作"垫底"，降低了测量时的谐振频率。

假设由L1和C1组成的谐振回路谐振频率为*f*1，测量Lx时，Lx和L1串联，测得（L1+Lx）和C1组成的谐振回路谐振频率为*f*2，则根据下式可计算出Lx的电感量：

$$Lx=[(f1/f2)^2-1]L1$$

测量Cx时，Cx和C1并联，测得L1和（C1+Cx）组成的谐振回路谐振频率为*f*2，则可根据下式可计算出Cx的电容量：

$$Cx=[(f1/f2)^2-1]C1$$

硬件电路

测量仪电路如图1所示。电路由LC振荡电路、单片机电路、显示电路等部分组成。

CD4069是6非门CMOS集成电路，其

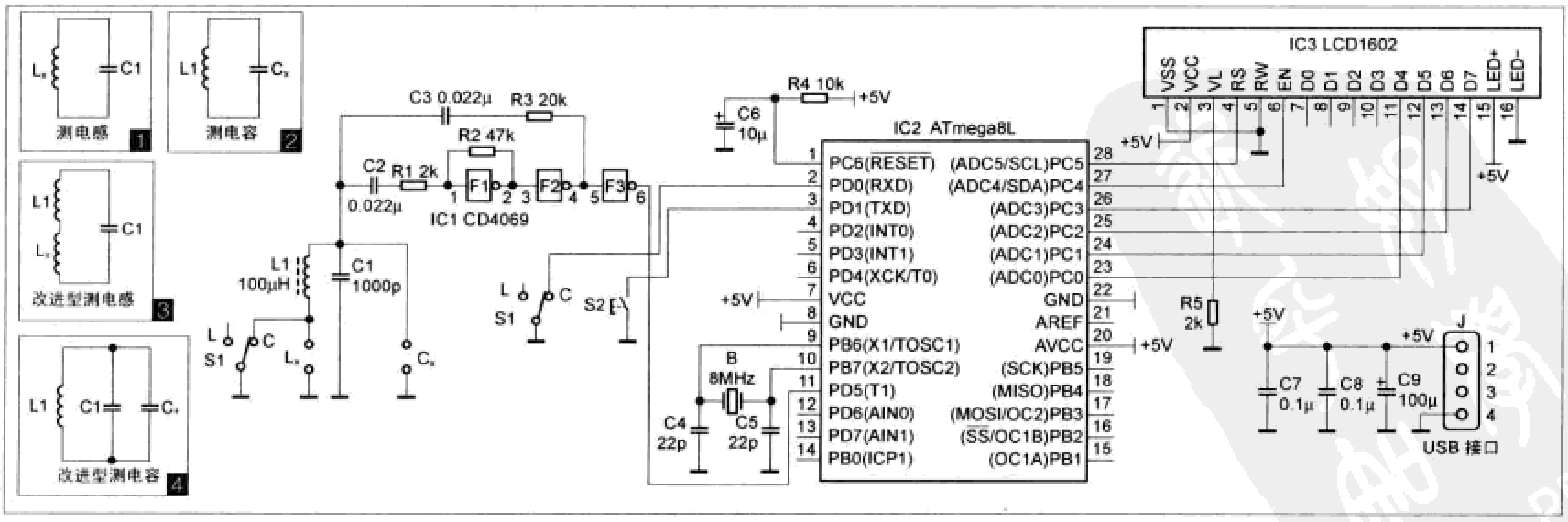


图1 测量仪电路原理图

中非门F1、F2和C2、R1、R2等组成两级放大电路。第一级放大电路中，R2是负反馈偏置电阻，将F1输出端的直流电位钳制在VCC/2，使F1工作在线性放大区域。第二级放大电路没有加反馈电阻，直接用第一级放大电路输出的直流电压作偏置电压，以提高放大器的增益。放大电路通过正反馈回路R3、C3与L1、C1谐振电路一起组成正弦波振荡电路，非门F3用于信号整形，把F2输出的正弦波转换成矩形波输入到单片机ATmega8的T1脚，由单片机进行脉冲计数，从而测出LC回路的谐振频率。通过单片机对数据进行计算处理后，由LCD1602液晶屏显示测量结果。

S1为测量转换开关，当S1转向L时测量电感，转向C时测量电容。S2是归0按钮。

LCD1602采用4线制传递数据，只使用了数据端口D4~D7。

当开关S1在电容挡但没有测量电容Cx，或在电感挡并且用短路线代替Lx时，电路的振荡频率约为503kHz，我们把这个频率称为基准频率。测试电容或电感时，被测试元件的电容量或电感量越大，对应的振荡频率越低。当被测电容的电容量为10μF（或电感的电感量为1H）时，对应的振荡频率约为5.03kHz。

电阻R5的阻值控制LCD1602液晶屏的对比度，R5阻值越小，液晶屏对比度越大。LED-和LED+是液晶屏背光发光二极管的供电端口。

程序设计

测量仪的电路比较简单，而功能的实现更重要地依赖于程序的设计。程序的设计和优化需要花费更多的精力。

程序由频率测量、测试数据的计算处理、LCD1602液晶屏驱动显示等三大部分组成。频率测量部分用定时器T/C1作脉冲计数，定时器T/C2产生测量脉冲频率的闸门时间。这里闸门时间选择0.5s，定时器T/C1累计的脉冲数乘以2即得脉冲频率。闸门时间选择0.5s是为了提高LCD1602显示数据刷新速度，如果闸门时间选1s，则刷新速度偏慢。

测试数据的计算处理部分主要利用前面给的两个公式计算出测量结果，并经过数据预处理后，输出到显示电路显示读数。

LCD1602的数据传输采用4线制，8位数据分两次传送，先传高4位，后传低4位，因为传递的数据量不大，所以你感觉不到4线制速度传输和8线制有什么区别。

安装调试

制作所需元器件的清单见表1。

C1、L1要选用精度比较高的元件，有条件的可用万能电桥进行筛选。L1如买不到成品电感也可自制，磁芯用Φ8×10的工字磁芯，用Φ0.42的漆包线绕55.5圈。

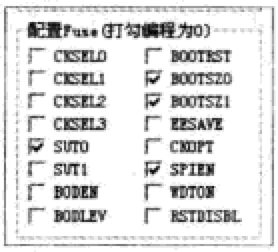


图2 熔丝位的设置

安装前先将程序的目标文件写入单片机

表1

序号	元件名称	标号	型号规格	数量
1	单片机	IC1	ATmega8L DIP28封装	1
2	6非门集成电路	IC2	CD4069 DIP14封装	1
3	LCD显示屏	IC3	1602	1
4	电阻	R1、R5	1/4W 2kΩ	2
5		R4	1/4W 10kΩ	1
6		R3	1/4W 20kΩ	1
7		R2	1/4W 47kΩ	1
8	电容	C4、C5	瓷介电容 22pF	2
9		C1	CBB电容1000pF	1
10		C2、C3	CBB电容 0.022μF	2
11		C7、C8	CBB电容 0.1μF	2
12	电解电容	C6	10μF 16V	1
13		C9	100μF 16V	1
14	电感	L1	Φ8×10工字电感100μH	1
15	按钮开关	S1	2×2自锁按钮	1
16		S2	轻触按钮	1
17	电源接口	J	USB插座	1
18	1602连接口		排针、排座	1
19	测试端子		KF8500-3P接线端子	1
20	集成电路插座		DIP28和DIP14插座各1只	2
21	万能电路板		5cm×7cm	1

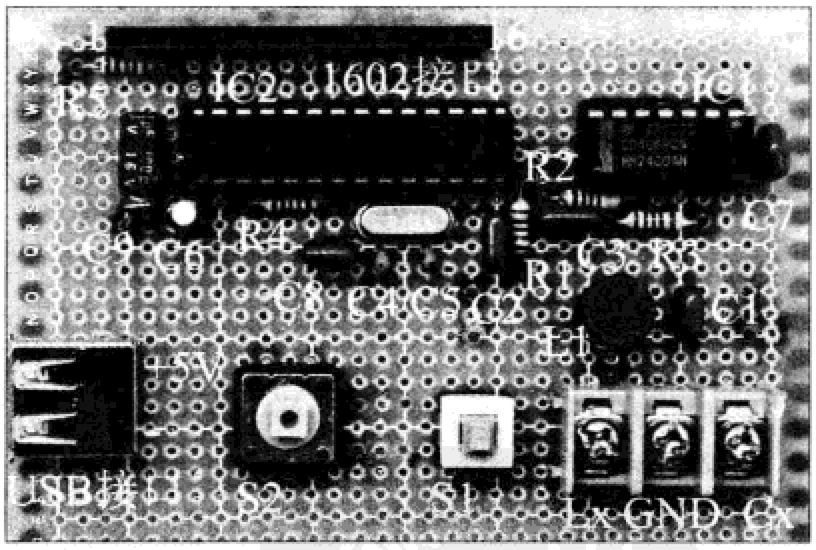


图3 电路板装配图

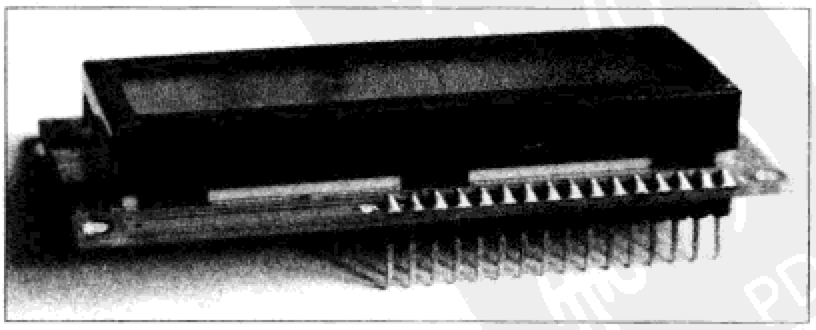


图4 排针的焊接

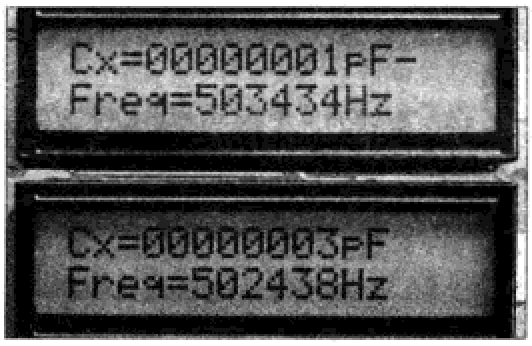


图5 基准频率的测量结果

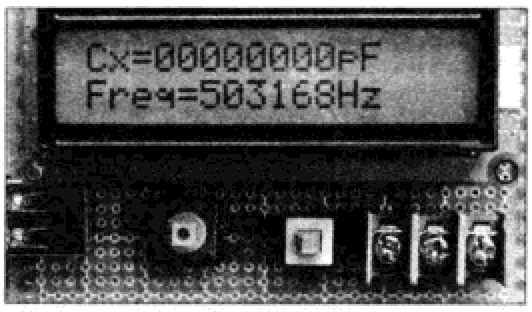


图6 按S2归0后的显示数据

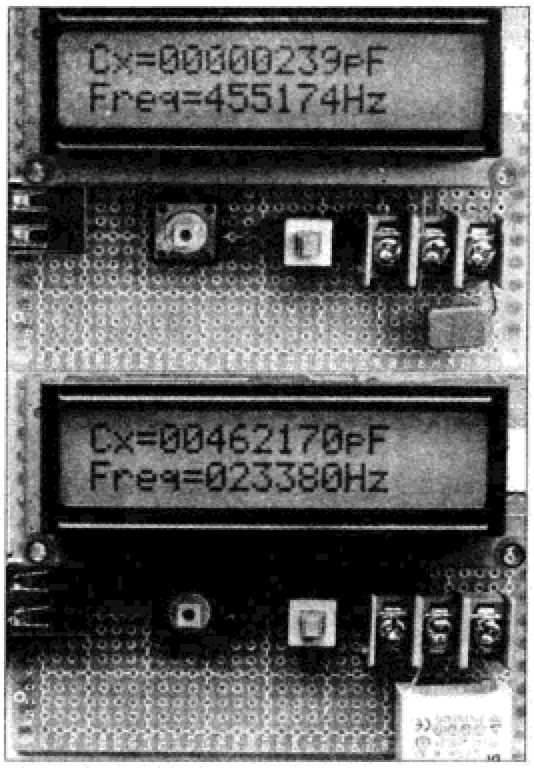


图7 电容的测量结果

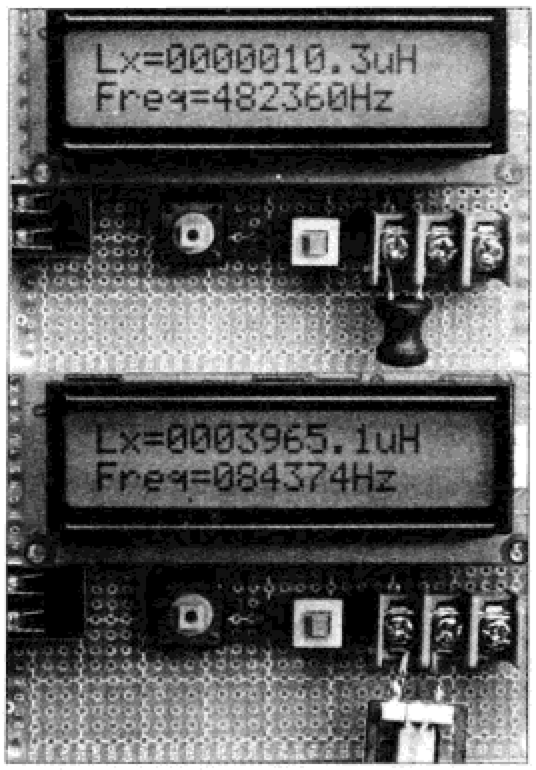


图8 电感的测量结果

ATmega8L，熔丝位的设置如图2所示。

电路板的装配图如图3所示。LCD1602的接口排座焊接在电路板上，排针焊接在LCD1602模块上如图4所示。

安装完成后，用一根USB线将电源接口连到电脑USB插座上，接通测量仪的电源，将S1置于电容挡，测量端不接电容，这时LCD1602第二行显示的是基准频率f1，如图5所示。基准频率如果超出503kHz±5kHz的范围，说明L1、C1中有元件误差较大，需进行相应的调整。如果L1是自绕的，出现误差的可能性相对较大，可适当增减其圈数，直至满足要求。

接通电源后，以电容挡为例，虽然我们在测试端并没有接任何电容，但LCD1602第一行显示的电容量读数并不为零，如图5所示，我们称其为初始值，这是由基准频率略有漂移造成的。这时如果测量小容量的电容，误差就比较大，当初始值后有“－”号时，测量值是实际值减去了初始值，即读数比实际容量小了。反之，测量值是实际值加上了初始值，即读数比实际容量大了。

对于上述问题，我在程序中也作了考虑，只要在不接测试电容的情况下按一下S2就可以归0了，其实质就是基准频率作了修正，并把修正结果存入EEPROM，掉电后不会丢失。归0后的显示数据见图6。

电容挡归0后，电感挡就不需要归0了，因为电容挡归0就相当于在电感挡测试端接了一个短路线，等同于电感挡归0（在S1置于电感挡，S2归0时其测试端必须接短路线），分析一下电路就明白了。

如果使用中发现测量误差较大，可通过程序进行修正，具体做法如下：找一个精度高的1000pF电容进行测量，假设读数为950pF，则计算1000/950≈1.05，我们将其称为修正系数，将计算公式$Cx=[(f1/f2)^2-1]C1$改为$Cx=[(f1/f2)^2-1]C1\times1.05$，用这个公式计算就能减小测量误差了。为了简化程序中的计算，我采取把程序中的语句“unsigned int C1=1000”改为“unsigned int C1=1050”的方法，效果是一样的。

再找一个精度高的100μH电感进行测量，假设读数为94，则计算100/94≈1.06，把程序中的语句“unsigned char L1=100”改为“unsigned char L1=106”，同样也能减小测量误差。

把重新编译好的目标文件烧写到ATmega8L，再进行测量，精度就提高了。

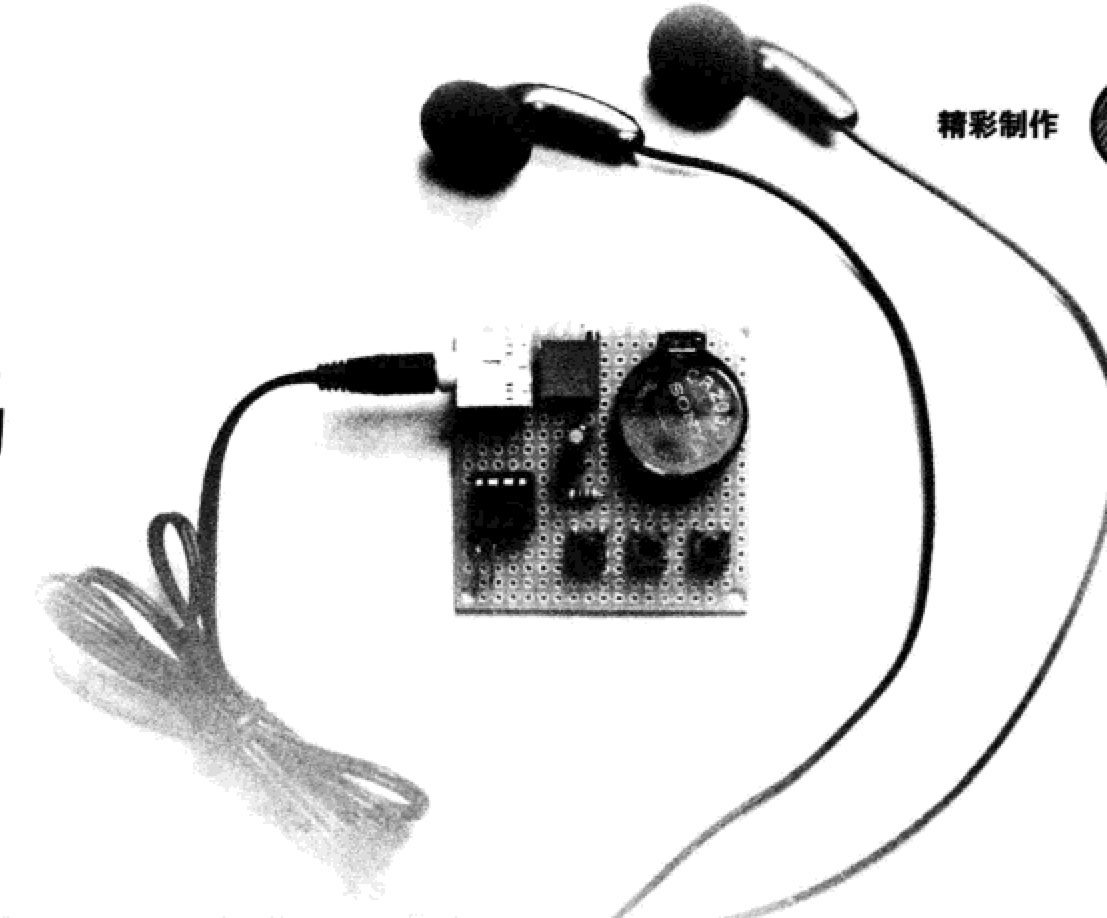
用本测试仪测量电容的实例如图7所示（测量对象分别为240pF云母电容和0.47μF安规电容），测量电感的实例如图8所示（测量对象分别为10μH电感和电子节能灯的电感线圈）。

当测量值超过量程时，读数显示“OVE”，测电感时电感测试端不接电感（相当于电感量为无穷大），读数也显示“OVE”。

使用这个电感和电容测量仪时有一个问题需要注意，即电感或电容的参数会受测试频率的影响。例如，具有磁芯的电感，由于受磁芯的频率特性影响，不同的测试频率，其结果可能有所不同，用这个测量仪测的数据和用信号源频率为1000Hz的万能电桥测的数据可能会不一致。笔者认为，用更接近实际工作频率的测试频率可以得到比较符合实际的测试结果。由于本测试仪工作频率比较高，不适合测量电解电容器。笔者测量一个10μF的电解电容器，对应测试频率为6.5kHz，读数为6.26μF，误差很大。

本文相关源程序和烧写文件可以到《无线电》网站www.radio.com.cn下载。

DIY 莫尔斯码“随身听”



◎朱棣

莫尔斯码已经发明100多年了，直到今天依然被使用着。它那简洁有力的声音，飘荡在某些频率上。对于新时代接触业余无线电的爱好者，可能对莫尔斯码的感情已经没有那么深了，因为学习莫尔斯码收发需要耗费太多的精力，远不如学习SSB等通信方式快捷。

近期我在学校做一个噪声环境下的自动莫尔斯码收译设备项目时，有幸接触到了这一美丽的“语言”，也让我萌生了学习莫尔斯码的念头。学习莫尔斯码的过程是痛苦的，因为需要把对“嘀”、“嗒”声的判断训练成一种本能。由于我没有那么多时间坐在电脑前听录音。于是我想到要做一款能随身携带的，自动产生莫尔斯码的“随身听”进行练耳，实物见题图。

“随身听”的功能

根据前文叙述，这个随身听要能随机产生莫尔斯码，同时能驱动耳机，将产生的莫尔斯码以声音的形式传出，还要能够手动设定产生的莫尔斯码的速度和声音的音调，而且可以将设置信息保存在非易失存储器内，掉电也不丢失。另外，由于这个小家伙要用电池供电，所以一定要低功耗，足够环保。

“随身听”的硬件电路

这个小制作需要用到的元件清单，见表1。

由于这个电路实现的功能非常简单，所以单片机我选用了STC公司的15L104E。可能很多读者对这款单片机不是非常了解，它算是个“小家伙”了，仅有8个引脚，除去电源引脚和GND，剩余的6个引脚全部都是I/O口。该款单片机只能使用内部振荡器，不过精确度还是可以接受的。它同样具有1T的运行速度、2个定时器、看门狗、EEPROM等。2个定时器可以配置为时钟输出定时器，通过置位INT_CLKO寄存器中的两位，可以将P3.4、P3.5口设为时钟输出，这个功能十分有用。由于是使用电池供电，所以选型上使用的是15L系列的低电压版本。不过由于缺货的原因，直至目前为止，我还没有用上15L，测试中使用的是同款的5V版本15F104E，如图1所示。

表1

元件名称	型号及参数	数量
单片机	STC15L104E	1
IC座	DIP-8	1
电阻	3.9kΩ	1
电容	10μF	1
NPN三极管	8050	1
电位器	500kΩ	1
电池座	适合CR2032电池	1
耳机插座	3.5mm	1
万用板	4.5cmx4.5cm	1
按键	任意型号	3

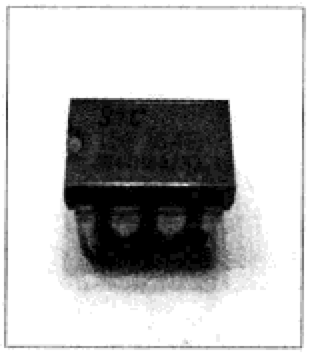


图1 STC15F104E

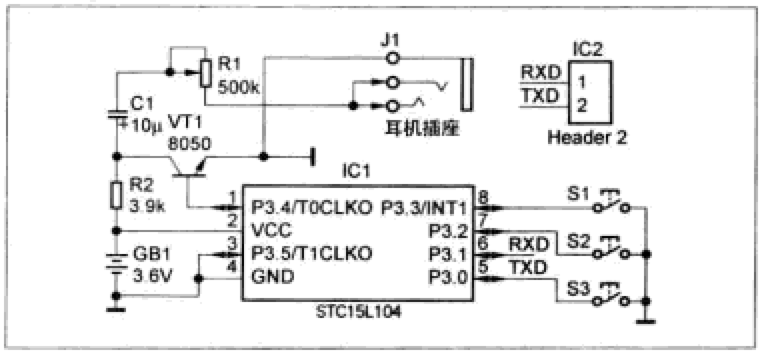


图2 电路原理图

其他外围电路就非常简单了，具体电路原理如图2所示，输出部分通过一个共射接法的三极管增加驱动能力，用一个电容耦合到下级。同时，通过一个500kΩ的电位器在输出端进行分压，以控制音量。通过短接耳机输出的左、右声道，使得左、右耳能听到同样的声音。需要立体声效果的读者可以自行改进，最简单的接法就是将输出接个三极管反相器后再接到另一个声道上去。

按键部分使用的是最简单的接法，没有采用硬件消抖，只是简单地把一端接地，一端接I/O口了。电路原理图中，S1为M键，S2为“加”键，S3为“减”键。这3个按键分别对应了单片机的P3.3口、P3.2口和P3.0口。

在这里还要多说明一点，15系列的单片机也是通过串口下载程序的，P3.0引脚和P3.1引脚分别对应了RXD和TXD。下载程序需要使用STC单独为15系列开发的下载软件，大家可以去STC的网站下载。在烧写程序时记得在软件界面选择12MHz的内部振荡频率，本文的代码数据是根据频率在12MHz下计算出来的。

“随身听”的程序设计

这个小小的莫尔斯码“随身听”看起来简单，但事实上程序中涉及的知识还是挺多的，待我慢慢给您道来。

1. 声音怎么发出

声音的产生是通过定时器来完成的。前文提到了这款单片机可以提供时钟输出，那么只需要将时钟输出的频率调成输出音调的频率就可以了。所以只需要根据输出频率调节T0的溢出率就可以实现。计算的公式是：

$f_{out}=(Sysclk)/12/(65535-[TH0,TL0])/2$

其中，*Sysclk*是系统时钟频率，TH0和TL0分别是T0的寄存器高位和低位。此外，15系列的2个定时器都是可以被配置为16位定时器或双8位定时器，而且这两种模式又各自分自动重装和非自动重装两种使用方式，默认上电复位后工作模式是16位自动重装定时器。

由于设计中要求声音频率可调，所以在此处还要把可调范围内的频率值所对应的TH0、TL0的数值都计算出来，然后写到数组里面，以供调用。

◆ uchar code

TimerH[ ]={0,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfe,0xfe,0xfe,0xFE,0xFE,0xFE,0xFE};

◆ uchar code

TimerL[ ]={0,0x35,0x64,0x8E,0xB3,0xD4,0xF1,0x0B,0x23,0x38,0x4C,0x5E,0x6F,0x7E};

2. 怎么产生莫尔斯码

产生莫尔斯码的基础就是产生“嘀”、“嗒”声。通过开关定时器T0，就可以做到这一点。定时器开的时候，有时钟产生，所以会听到一定频率的声音，时钟关闭的时候则不会输出声音。控制定时器开启的时间，也就可以产生“嘀”、“嗒”声。

延时函数的输入变量是可控的，这样就可以控制莫尔斯码的速率。同时这一延时时间是以“嘀”声的延时为标准的，产生“嗒”声的时候则需要延时3倍的标准时间。通过这样的时间控制方式，还可以定义每个字母之间的间隔时间或者每个词之间的间隔时间。采用这样的处理方式，产生的莫尔斯码就会非常标准。

将嘀嗒声连成字母就需要产生随机数了，随机数的产生可以读取定时器T0的TL0寄存器。因为这个寄存器一直在高速变化中，所以取出的数可以认为是从0x00～0xFF的随机数。通过对这个值向38取余数（因为只用到了37个不同的字母、数字、字符，这个在程序都有定义），就可以得到0~37的随机数，然后根据这个随机数进行case语句的选择就可以了。

主函数中计数产生的字母数，每产生5个字母就产生一个空格。

3. 如何进行调节

前文已经提及，调节速率和音调都有预留好的变量了。

调节音调，只需要从之前计算好的数组中取出所选频率对应的TL0和TH0的数值，然后写入这2个寄存器就可以了。

调节速度，只需要改变“嘀”声的时间的长短就可以，因为无论是“嗒”还是各种间隔，都是以“嘀”的时间长短为基准的，所以各个时间间隔都会随之变化。

相对困难的是实现菜单式的调节，因为没有显示工具，所以菜单做得比较简陋。程序中进行判断是否按下M键？如果按下，则会播放SPEED的莫尔斯码，播音结束后进入菜单1级的状态，此时按下“加”和“减”键就可以调节速度。再检测到按下M键，会播放TUNE的莫尔斯码，然后进入菜单2级的状态，此时可以调节音调。最后再检测到M键按下，则回到正常状态。速度的范围是5~30word/min，音调的范围是750~1250Hz。

4. 如何保存设置

保存设置就需要用到非易失性存储器，比如FLASH、EEPROM等。STC15L104E提供了1KB的EEPROM，可以存放用户数据。

EEPROM的基本操作分为读、写、擦除等，修改某个数据的时候需要擦除整个扇区。这些操作我都写到了头文件“eeprom.h”里，而且还添加了些单字节（unsigned char型）和双字节（unsigned int型）的函数，大家可以直接调用。

在这个“随身听”中，我使用的是第一扇区和第二扇区，因为数据量非常小，所以没必要节省空间，存放在两个扇区里面方便读写和修改。

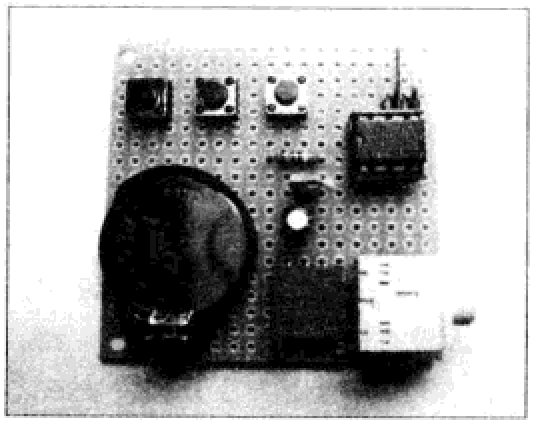


图3 焊接完成后的正面器件摆放

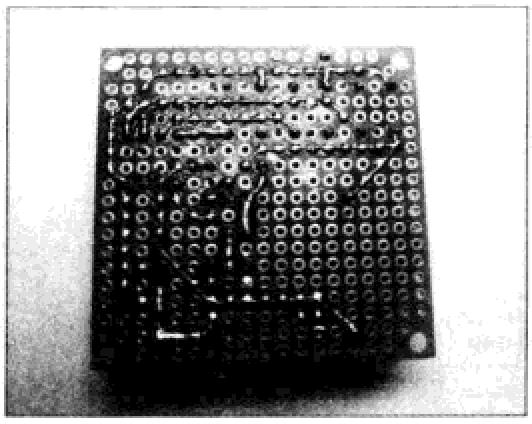


图4 焊接完成后的背面走线

简易超声波避障小车的制作

◎蒋瑞挺

目前小车避障的方法主要有超声波避障、视觉避障、红外传感器避障、激光避障等。其中视觉避障与激光避障实现成本高，而红外传感器则容易受环境光的影响。超声波避障实现方便、技术成熟、成本低，成为移动小车首选的避障方法。本文将介绍一种基于超声波避障小车的制作方法，包括软、硬件设计以及实验结果。

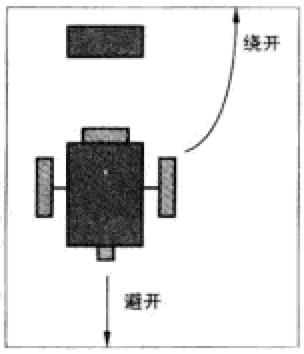


图1 避障原理示意图

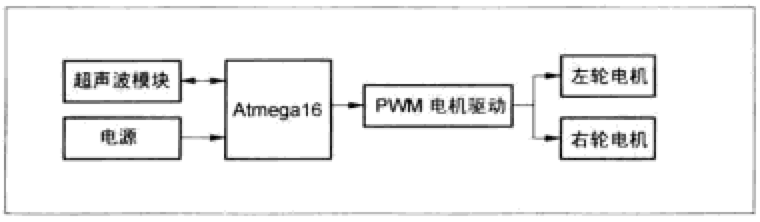


图2 硬件总体框架图

超声波避障原理

1. 超声波测距原理

超声波是一种频率高、指向性强的声波。超声波测距的原理是利用超声波在空气中的传播速度为已知的条件下，测量声波在发射后遇到障碍物反射回来的时间，根据发射和接收的时间差计算出发射点到障碍物的实际距离。由此可见，超声波测距原理与雷达原理是一样的。

---

5. 如何省电

由于这个作品使用电池供电，所以不得不考虑省电的问题。

我在设计之初就没准备加总开关，因为电池是裸露的，想彻底关闭设备的时候可以直接取下电池。在程序中，持续按住M键2秒以上，单片机就会进入掉电模式，以节省电量。实测在掉电模式下电流仅为0.04mA左右，非常低。

程序在检测到按下M键后会启动定时器T1，同时写入TL1和TH1的初值，并使定时器一直运行到按键松开。在这个过程中会不断进入定时器1的中断，通过一个计数变量监测，当定时器计满2秒时，打开外部中断0，并调用power_down函数让单片机进入掉电模式。

当外部中断0被触发，单片机离开掉电模式，然后关闭外部中断，并进行初始化。在这个过程中要注意一点，在掉电前一定要把INT_CLKO中控制P3.4输出时钟的寄存器清零，同时将P3.4引脚拉低，再次上电之后才能将INT_CLKO中的T0CLKO置位。否则，你将发现掉电时的电流高达90mA！原因是掉电的时候，如果不将T0CLKO清零，引脚将不能被拉低，而此时如果引脚输出为高电平的话，三极管是导通的，相当于电源直接通过集电极电阻接地，当然会有非常大的电流流过。所以这一步是至关重要的，否则你的掉电功耗将远远大于工作功耗，这就不是在省电了！

程序部分讲解到此为止，文章相关的源程序，读者朋友可以到《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）下载。另外在写这个程序的过程中，我顺便写了STC15F104E的头文件，也包含在源代码里面了，有喜欢这款单片机的朋友可以直接使用这个头文件。

制作注意事项

这款莫尔斯码“随身听”的硬件电路十分简单，制作起来没有太大的难度。首先大家要把元件备齐，工欲善其事，必先利其器。面包板不建议使用面积太大的，因为毕竟是“随身听”，太大的话不利于随身携带。本制作中我使用的是4.5cm×4.5cm的单面板，摆下所有元件绰绰有余。元件的摆放大家就可以随意发挥了，只要美观就行。电位器建议使用卧式安装方法，这样可以降低整体高度。面包板正面器件摆放示意图如图3所示，背面焊接图如图4所示。

后记

这个莫尔斯码“随身听”的制作就到此介绍完了，但是它还可以作为一个再开发的平台，开发出更强大的功能。比如，加入噪声来模拟真实的接收信号、开发更丰富的菜单功能之类的。同时我也希望这个小制作能给大家带来乐趣，能够吸引更多的人来学习莫尔斯码，将这门优雅的语言传承下去。想象一下，胸前挂着这样一款DIY的“小家伙”，接到耳机上享受地听着“嘀”“嗒”的旋律，漫步在街上，这是多么美好的事情啊！

注：这个制作的源代码用keil-uvision4编译的，uvision 2和uvision 3无法打开工程。

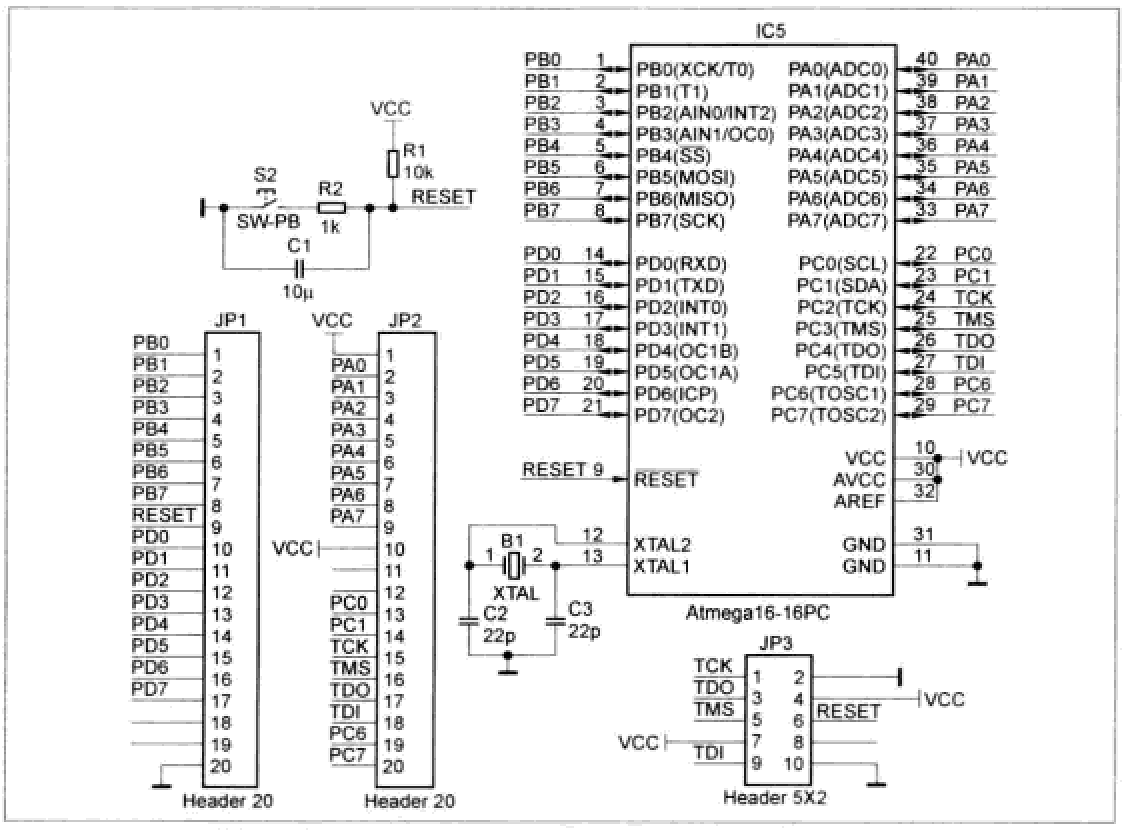


图3 Atmega16最小系统原理图

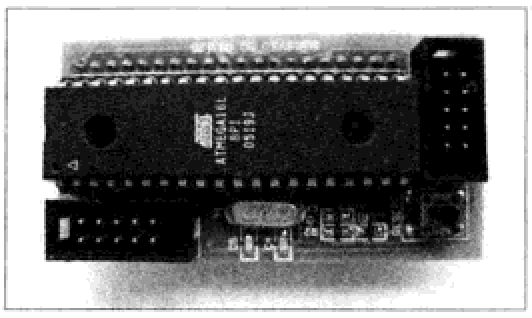


图4 Atmega16最小系统实物图

表1

说明	标号	数量
10μF电容	C1	1
22pF电容	C2	1
22pF电容	C3	1
20脚插座，用于I/O脚引出	JP1	1
20脚插座，用于I/O脚引出	JP2	1
2×5插针，用于JTAG调试	JP3	1
10kΩ电阻	R1	1
1kΩ电阻	R2	1
复位按钮	S2	1
Atmega16单片机	IC5	1
8MHz晶体	B1	1

测距的公式表示为：

$L=C\times t$

式中，L为测量的距离长度，C为超声波在空气中的传播速度，t为测量距离传播的时间差（发射到接收时间差的一半）。已知超声波的传播速度C=344m/s（20℃室温）。

超声波的传播速度受空气的密度所影响，空气的密度越高则超声波的传播速度就越快，而空气的密度又与温度有着密切的关系，近似公式为：

$C=C_0+0.607\times T$

式中，C_0为0℃时的声波的传播速度为332m/s，T为实际温度（单位：℃）。

2. 避障原理

当通过超声波测得与前方障碍物的距离后，可以根据程序，自动控制小车行进方向。一般需要指定前方物体与小车距离在多少范围内，即认为是障碍物，需要小车进行躲避。小车躲避的方式很多，比如通过左、右转弯，绕过障碍物，或者直接调头避开障碍物等，如图1所示。本文所设计的小车采用相对比较容易实现的避开障碍物的方式，只要检测到障碍物即调头避开。

硬件设计

本小车以Atmega16为主控制单元，采用成品超声波模块为检测单元，以PWM为电机控制方式，总体硬件框架如图2所示。

主控制单元Atmega16是基于增强型AVR RISC结构的低功耗8位CMOS微控制器。由于其先进的指令集以及单时钟周期指令执行时间，Atmega16的数据吞吐率高达1MIPS/MHz，从而可以缓解系统在功耗和处理速度之间的矛盾。该高性能单片机完全符合本设计的要求，其最小系统原理图如图3所示，图中元器件说明见表1。

按照模块化设计思想，本文将最小系统制作成单独模块，其最终实物如图4所示。超声波模块采用批量生产的成品模块，大大降低了设计难度及制作成本。

超声波模块具有如下特点：

1. 超微型尺寸，只相当于两个发射与接收头的面积。

表2

说明	标号	数量
104电容	C1	1
104电容	C2	1
10μF电容	C3	1
22μF电容	C4	1
2脚插针，用于电机控制输出	JP1	1
2脚插针，用于电机控制输出	JP2	1
2脚插针，用于外部电源输入	JP3	1
2X20插座，用于连接单片机最小系统模块	IC1	1
1117M3-5V，DC-DC转换芯片，将输入电源降压到5V工作电压	IC2	1
4脚插座，用于连接超声波模块	IC3	1
5脚插针，用于连接串口模块	IC4	1
L293D电机驱动芯片	IC5	1
电源开关	IC6	1

2. 无盲区（8mm内成三角形时误差稍大）。

3. 反应速度快，10ms的测量周期，不容易丢失高速目标。

4. 发射头紧靠接收头，与被测目标基本成直线关系。

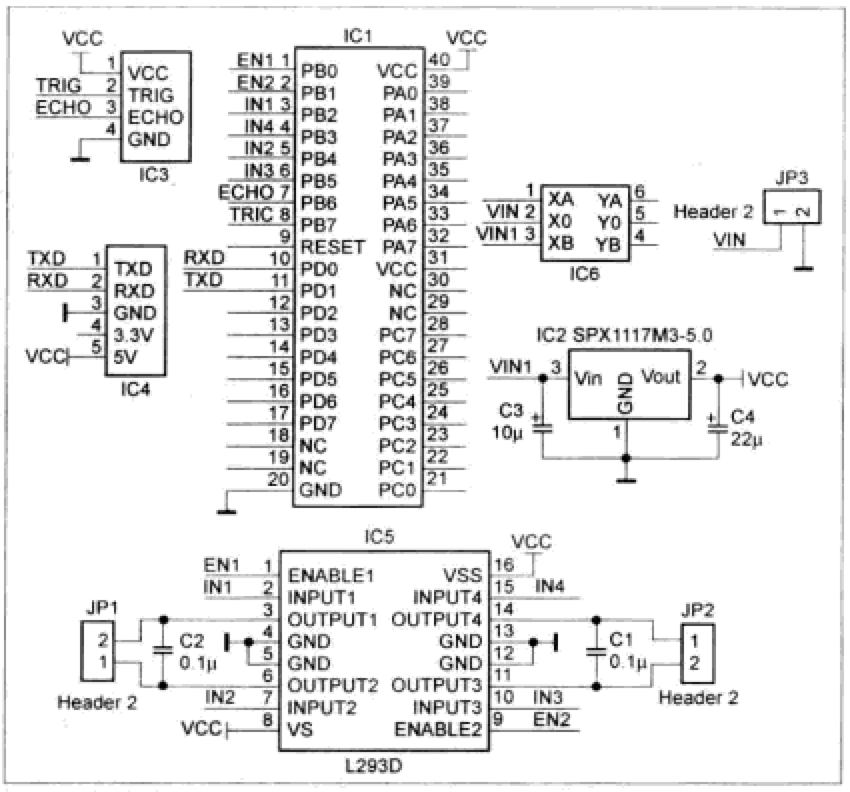


图5 底板原理图

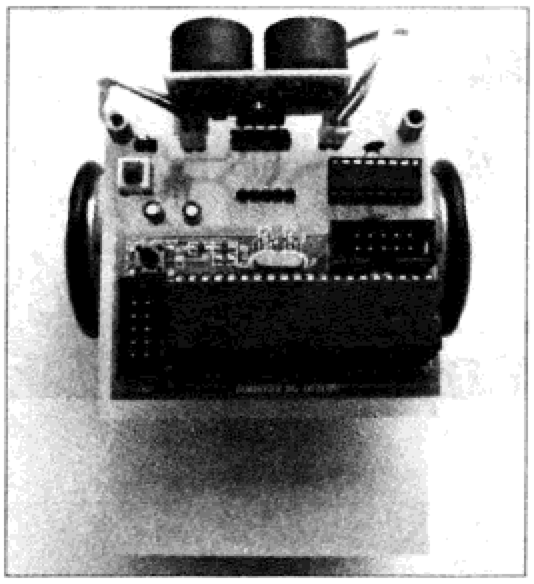


图6 组装后的实物图

5. 模块上有LED指示，方便观察和测试。

该模块的操作方法如下：

外部控制器在TRIG引脚上加载至少10μs的低电平信号，然后加载高电平信号，此时开始测量。模块会自动发送8个40kHz的方波，自动检测是否有信号返回。当有信号返回，模块会自动加载低电平信号到ECHO引脚上。从加载TRIG引脚高电平信号开始到ECHO引脚输出低电平信号之间的间隔时间就是超声波从发射到返回的时间。因此测试距离即为该间隔时间与声速乘积的一半。当前方无测量物或测量物距离超过模块最大测量距离(1500mm)时，ECHO引脚电平将不会产生变化。此时需要外部控制器自身做超时判断，超时时间一般为10ms。

底板实现各个模块的连接、电机驱动以及电平转换等功能，采用热转印方式制作，原理图如图5所示，图中元器件说明见表2。

小车车身与车轮都使用铝合金制作，车轮上套有塑胶圈，以增加摩擦力。小车采用三轮结构，前两轮由两个小功率直流电机驱动，后轮由一个万向轮作随动。

电源采用可充动力锂电池，输出电压7.4V，电池容量1000mAh，放电倍率15C。

控制电路板使用铜柱与螺母安装在小车车身上，完成组装后的实物如图6所示。

软件设计

软件采用C语言编程，以模块化方式设计，主要包含主程序、发射子程序、查询接收子程序、定时子程序、电机驱动子程序等模块。其总体的软件流程如图7所示。

障碍物检测通过超声波测距来实现，检测流程图如图8所示。

小车采用恒定的PWM占空比来实现固定速度前进与旋转。程序中使用ATmega16的16位定时器模拟实现两路8位PWM输出，来同时控制左右轮两个电机。小车方向只有前进与旋转两种方式，通过控制电机转向来实现，实现原理如图9所示。

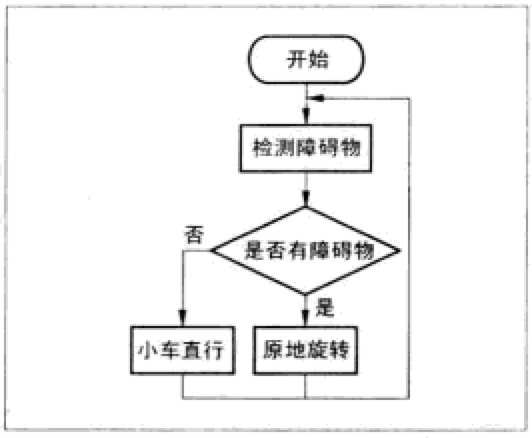


图7 总体软件流程图

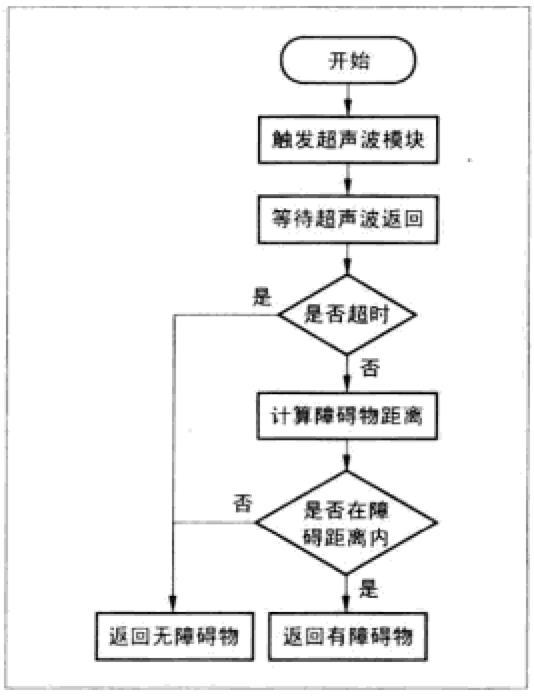


图8 障碍物检测流程图

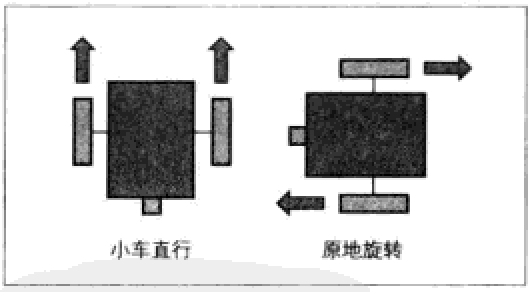


图9 小车方向控制原理图

总结

本小车初步实现了在高速行驶环境下安全避障的功能。在实际使用中，发现超声避障还存在一些缺点，如存在探测盲区，幻影现象等。这些可以通过采用多个超声波传感器采集障碍信息来避免。本文所需的程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

DIY之旅
从一个毫伏表开始

◎金宏伟

拜前两年的金融危机之赐，我终于可以放下曾经所谓的事业，也就有暇重拾已搁置近20年的陈年旧好。看着依然完整的714卫星接收机的“遗骸”，我的DIY之路也一步步开始了。

玩无线电，离不开各种测量仪表。有了很好的指针万用表，也有了相当不错的数字万用表，但它们都测不了弱至毫伏甚至微伏的直流电压，也测不了高频信号的幅度，需要高阻抗测量时也无法看到可以展示趋势变化的指针……当我想DIY一些小附件来扩展它们的功能时，却总是麻烦一堆。无源的附件相对好办，但使用时得把表笔插头拔来插去的。有源的就更麻烦了，不但要拔插头，更要拖上一根电源线。于是，自制一个扩展能力强劲的直流毫伏表就成了我的第一个DIY项目了。

在优先考虑未来扩展的情况下，这个毫伏表被设计成纯直流的。图2是整个毫伏表的电路图，电源部分相信每个DIYer都有更适合自己的解决方案，这里就不献丑了。

要做到最小满量程为直流300μV，电路设计上必须同时考虑到直流漂移、交流的杂波干扰和内部噪声。要对付前者，除放大电路分由两级运放来承担外，运放的选择也很重要。好在我的设计目标不算太高，这样的要求并不需要ICL7650一类的自动稳零运放来实现，廉价的OP07的输入失调电压仅数十微伏，用在这里已足够了。

另外，由于这个毫伏表的设计和使

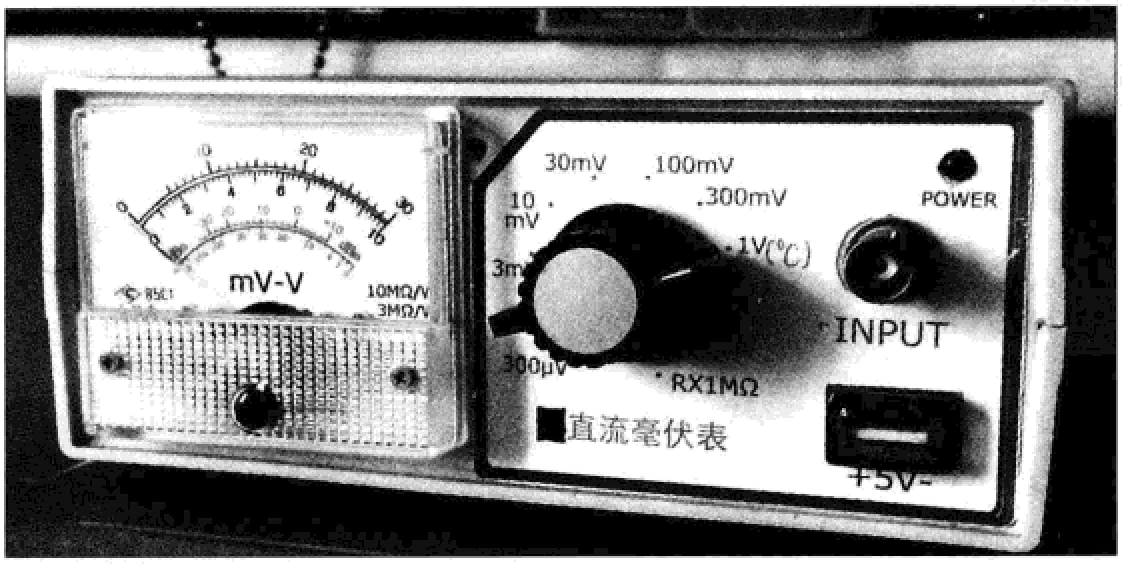


图1 毫伏表的外观

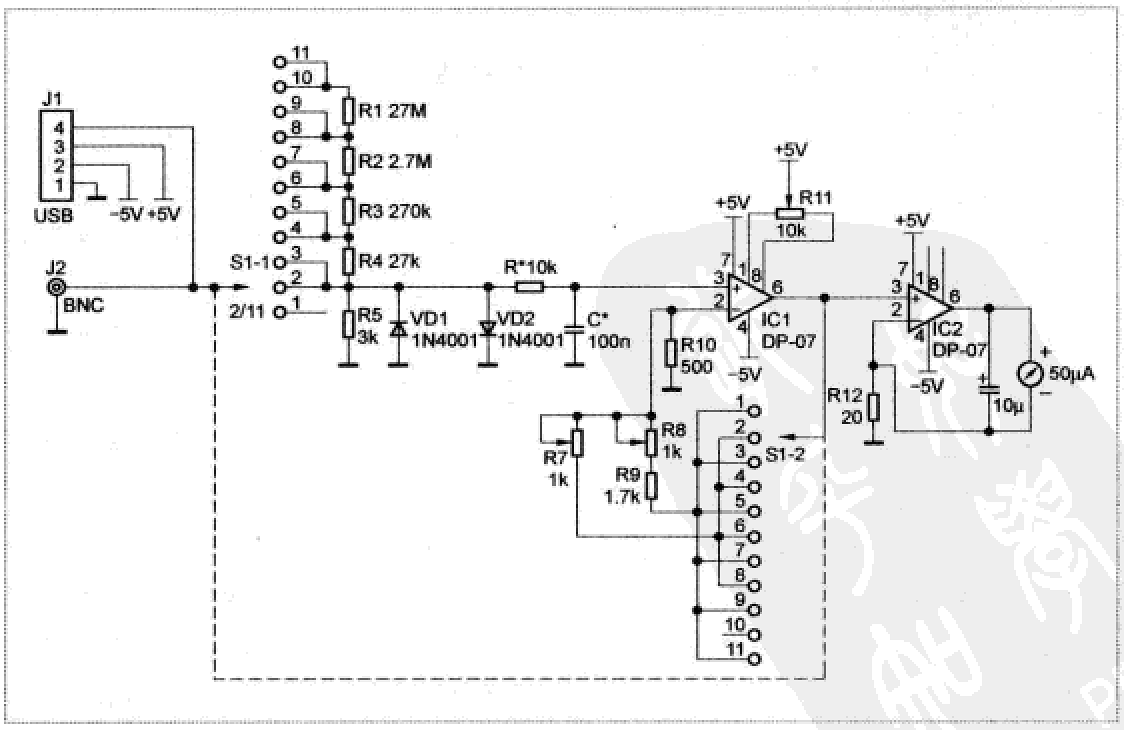


图2 毫伏表电路图

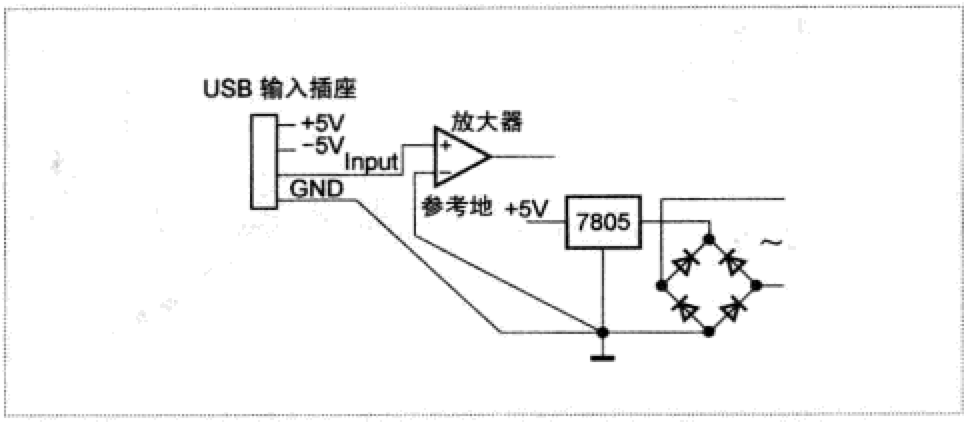


图3 一点接地示意图

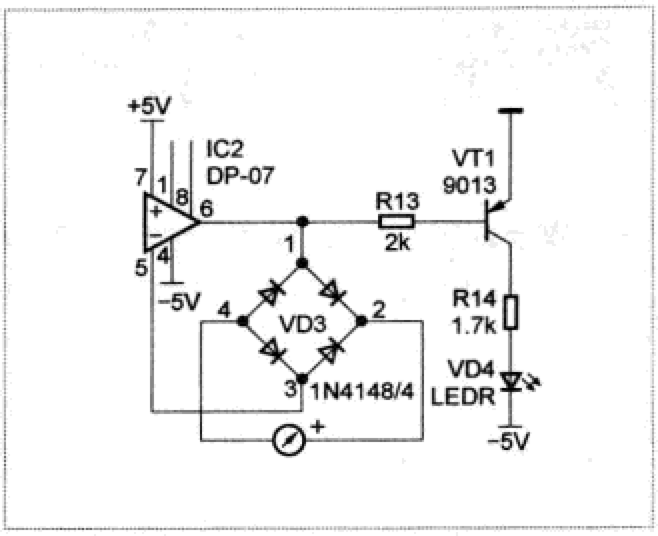


图4 通常设计中采用的全波整流毫伏表电路

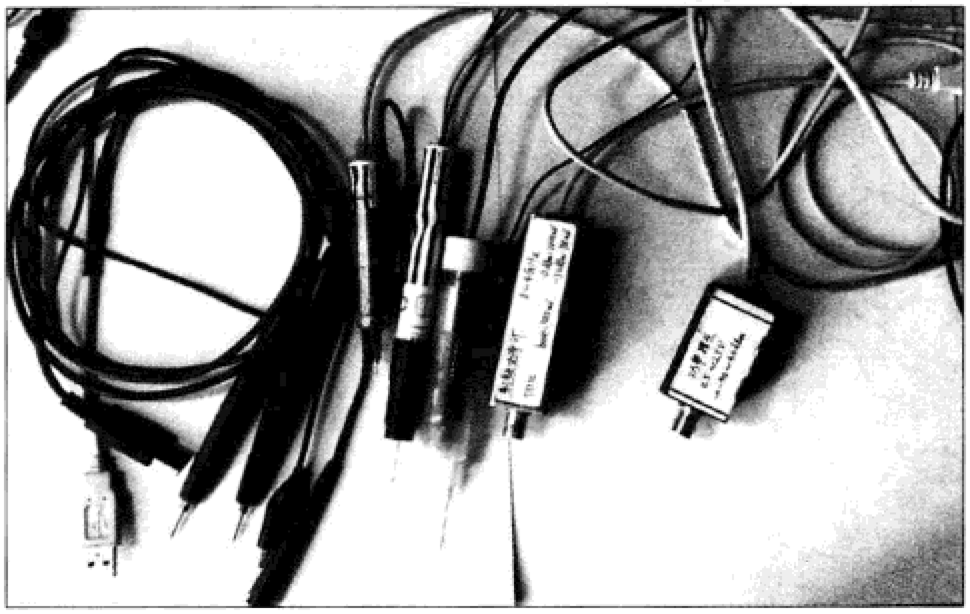


图6 各种表笔及附件

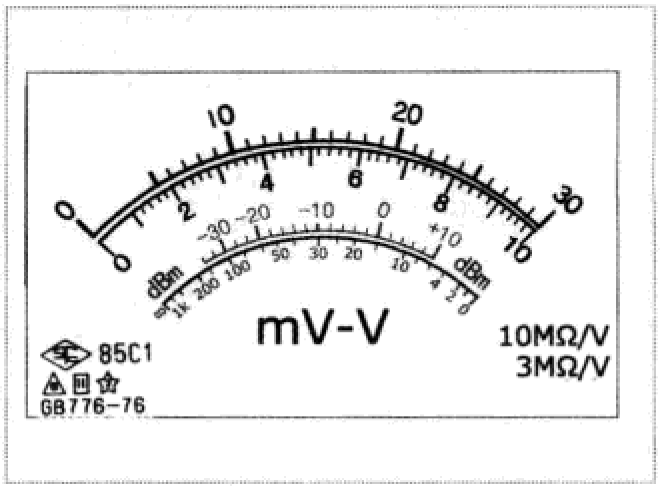


图5 刻度盘图

用上会有外接的有源附件接入，输入插座至电路板的地线上就可能会有相当的电流通过。300μV的满量程，意味着它能对几微伏的电压产生反应。这样微小的电压，即使是在万分之几欧姆的电阻上也只需要10mA的电流就足够发生了。而1cm长度的PCB印制线几乎就有这么大的电阻了，所以整机的布线上必须要考虑一点接地，具体的示意见图3。

要对付交流杂波干扰就更不容易了。出于成本和制作工艺上的考虑，我只用了很普通的成品塑料机壳来做表的外壳，整个电路完全没有屏蔽。而交流的杂波干扰几乎无处不在，50Hz的市电、节能灯的高频电流，甚至是广播信号，都会一古脑儿地钻进你的机箱，在电路板和每一根连接线上感应出足以让这个灵敏的仪器产生反应的干扰信号。

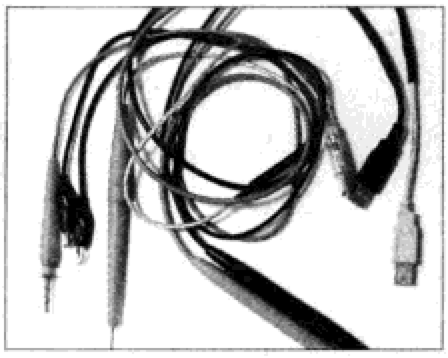
要抵抗这些干扰，首先，输入部分要加有低通滤波器（见图2中的R*、C*），杜绝从输入端引入的任何交流信号。其次，整个电路中不能存在有非线性部分。大多数毫伏表的设计都是在运放对表头的输出部分加一个全波整流电路（见图4），好让表头对正、负输入都有相同的响应，然后另加一个指示电路，对输入信号的极性作出指示。但这样的非线性设计会使交流的干扰和噪声转化为直流成分，进而使毫伏表产生错误的输出。同时，整流电路中的二极管的起始压降会严重影响毫伏表的灵敏度和稳定性。所以，在我的毫伏表设计中，表头是直接接到末级运放输出端的。

我的毫伏表最具特色的设计莫过于USB接口的使用了，当然，这里只是使用了USB接口的物理结构，并无USB数据传输功能。毫伏表的输入端采用了带有正、负5V供电的USB接口，就可以很方便地连接一些有源附件了。这个毫伏表的表盘上有一条刻度线，就是专门为一个至少可以工作到4GHz的超高频微功率计准备的（见图5）。

有了可以对外供电的输入接口，似乎一切都变得可能。我的工作台上多了这个毫伏表之后，每当我端详着它，脑海里就会浮现出各种各样的附件设计：喜欢传感器的话，做个测温探头、可燃气探头；玩低频的话，做个音频（视频）电压表探头；玩高频的话，就做个高频检波探头；甚至可以简单好玩到做一个带灯的表笔。

DIY的世界就此向我们敞开了大门，何不现在就动手一做呢！

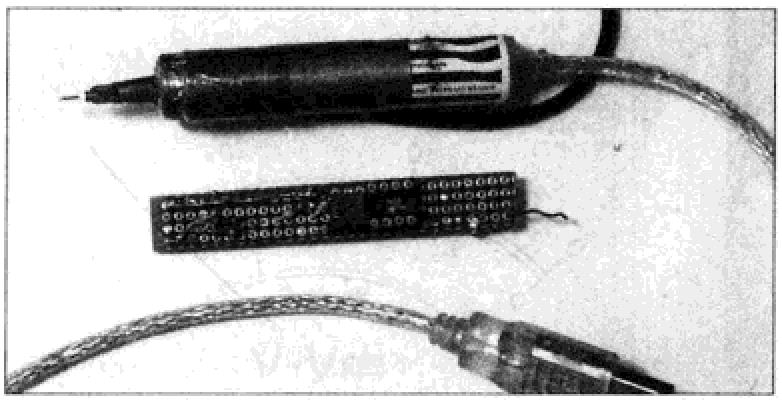
用附件武装你的毫伏表



毫伏表上的“USB 接口”为我打开了DIY 世界的大门。我匆匆制作了几套表笔之后，就兴奋地投入到各种探头附件的设计制作中了。

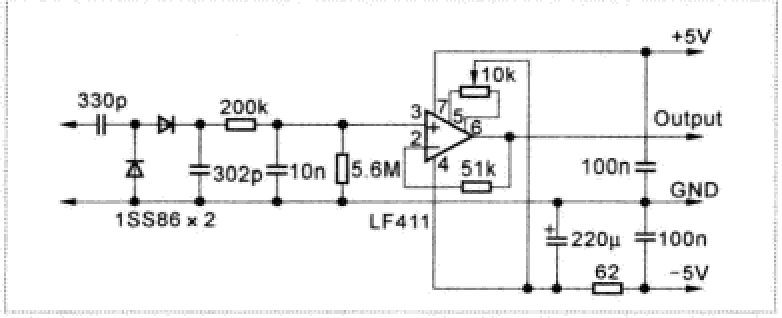
◎金宏伟

射频毫伏表探头



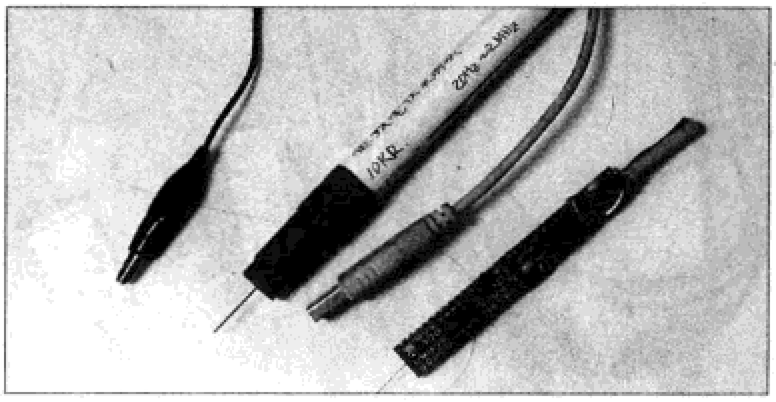
作为一个无线电爱好者，虽非火腿，但也喜欢摆弄高频的东西，所以有了带“USB 接口”的毫伏表后，我最先要制作的附件就是一个射频毫伏表探头。

因为自己当时的DIY能力还在300MHz 以下（呵呵，显然照714 时代大大退步），所以我对这个探头期望的最高工作频率也不过200～300MHz。于是，我就用高级记号笔的铝制外壳来做探头的屏蔽罩，电路板采用双面洞洞板，电路图如下图所示。图中，由两只1SS86 对高频信号进行倍压检波，这里采用了倍压方式，确实可以对输出电压起到明显的提升效果，而1SS86 是市场上最廉价、易得的超高频肖特基管，起始压降甚至低过2AP30一类的锗管。运放LF411用来做电压跟随器，提高了前端检波器的负载阻抗，同时降低了探头输出阻抗，提高了抗干扰能力。LF411 是高阻抗、低失调型运放，用在这里，远胜过高阻抗但也高失调的CA3140和低阻抗、低失调的OP07。探头的工作频率下限大致在500kHz，而上限则在100MHz以上。下页的附表是我用10MHz 高频电压对这个探头进行的比较，给读者作个简单的参考。



射频毫伏表探头电路图

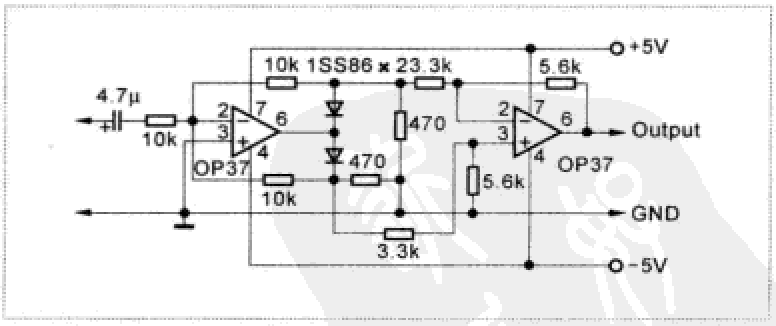
音（视）频毫伏表探头



我在设计制作这个探头时，有点颇费周折，我希望它的工作频率范围尽可能地宽（最后我做到了20Hz～2MHz），线性工作范围尽可能地大（最后做到10mV～1Vp-p）。

电路架构比较早就定下来了，但里面的运放和整流二极管的选择却几经反复，最终可以算是实现了我的目标。电路图如下图所示。

这个电路的工作频带要远比通常的数字万用表中采用的线性整流器宽得多，可以用来DIY 一个交流频带更宽的数字万用表，只是成本也高了许多。



音（视）频毫伏表探头电路图

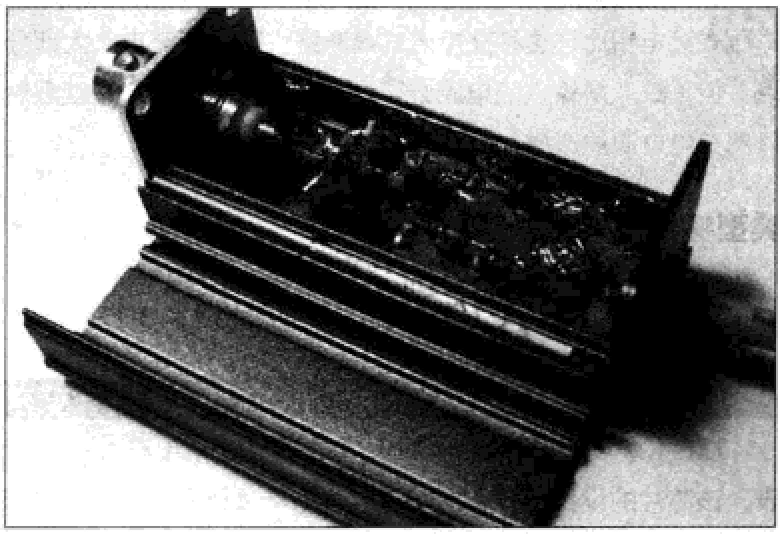
射频功率计探头和反射电桥

对于更高频率的电路，非匹配式的高阻抗检测器已经无法获得可靠的信息，这时，匹配式的功率计就派上用场了。

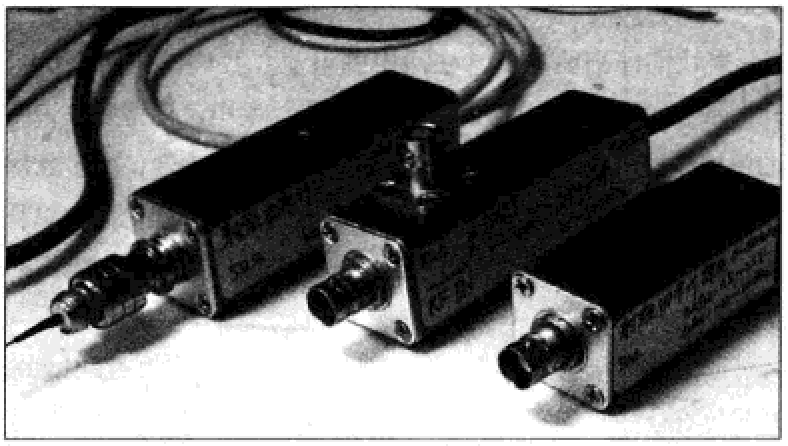
由于工作频率的升高，对探头的屏蔽要求也更加严格。这里，我用的是在电子市场里可以比较容易买到的铝型材屏蔽盒和BNC插座。如果要求更严格的话，输入插座则应该选择SMA或N型射频插座。市面上卖的带法兰座的N型插座正好可以用螺丝直接连接到屏蔽盒的端面上，安装起来非常方便。屏蔽盒内部要贴上两条铜箔，以便于焊接，再放置一块单面覆铜板，作为电路基板，并将其两边与铜箔焊接好，元件采用“死虫”法焊接。

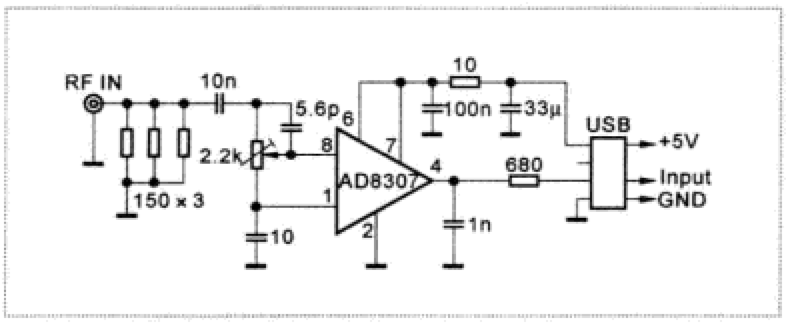
功率计电路图中，输入端的50Ω匹配电阻应该用尽可能多的贴片电阻并联而成，以降低其感抗成分，提高工作频率。5.6pF 的电容用于频率补偿，以修正AD8307的频率特性。采用50MHz 、0dBm 高频信号源对探头进行校准，调节2.2kΩ的微调电阻，使其输出电压为2V即可。探头的工作频率范围为1～500MHz，动态范围可达80dB，当输入为20dBm 时，对应输出为2.5V，输入-60dBm时，对应输出为0.5V。

反射电桥也是DIY高频电路时常用的设备，多数设计是将电桥分离出的反射信号，用传输线变压器变换为不平衡输出，再由另外的功率计进行测量。但传输线变压器在业余条件下很难制作得非常完美，而且使用时还需另接功率计才行，而我这里的设计则是利用AD8307的平衡输入方式，直接测量电桥的反射功率。

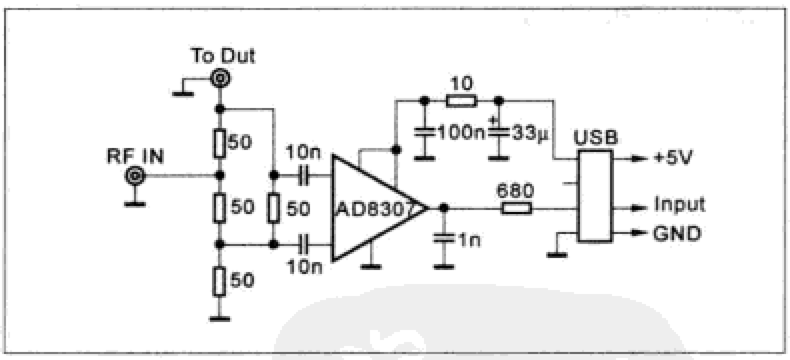

制作工艺

反射电桥的具体制作方法与功率计大致相同，这里就不再赘述。


射频功率计探头和反射电桥



功率计电路

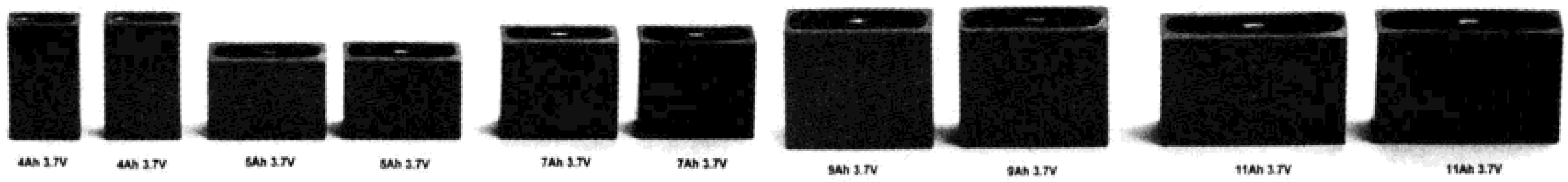


反射电桥电路

附表　用10MHz高频电压对射频探头进行的比较

校准电压（mV_{p-p}）	探头输出电压（mV）
20	2
50	9
100	33
150	60
500	330

我的 DIY 之旅从一个带“USB 接口”的毫伏表开始，思路随这个接口的扩展能力而膨胀。我随后制作的频率计也使用了同样的输入接口，并为它配备了高阻抗前置放大器探头和晶体振荡器测量附件。原本想把频率计作为 DIY 之旅的下一篇，但现在市场上卖的频率计已经便宜透顶，DIY 实在不划算。所以我打算跳过频率计这一段，直接进入一个更能体现 DIY 魅力的话题，那就是“DIY 高频合成信号发生器”。



锂电池充电电路详谈

◎夏天祥　宋思源　戴希洋

如果我们仔细留意日常生活中的电池，我们使用的手机、MP3、数码相机、DV、电动自行车、手电、模型爱好者使用的各种模型以及一些嵌入式应用等领域使用的电池，大多数都是锂电池。可以说，我们每天都跟锂电池打交道！锂电池在能量密度、体积方面具有特别突出的优势，越来越成为电池型电源的首选。

不过，我们要注意的是，锂电池是很“娇贵”的。锂电池的“娇贵”在于：首先它不能过放电，如果锂电池过放电将会导致锂电池的永久性损坏；其次，锂电池也不能过充电，过充电会导致锂电池发生爆炸的危险。此外，电池短路也会损坏电池或者产生危险。好在我们目前的锂电池电源管理技术使得我们可以安全方便地使用它们。

锂电池电源管理实际上就是实时监控锂电池的输入/输出电流、电压以及温度等参数。锂电池的电源管理主要针对锂电池充电，锂电池充电时，电源管理模块需要保证电池的充电过程满足锂电池充电特性曲线，这样才能有效保证锂电池的使用寿命。

锂电池的三种通用充电方式

我们根据锂电池充电芯片的发展，可以大体将锂电池的充电方式分为三大类：线性降压式充电、开关式充电、脉冲式充电。

线性降压式充电利用的是元件的电阻特性，通过电压反馈保证输出的恒定。这种充电方式的好处是，不需要电容、电感等储能元件和起到开关作用的MOS管，因此电路简洁、成本低廉，同时线性元件相对于储能元件的反应速度要快，因此充电调节速度快，输出的纹波也较小。线性降压的缺点是，由于电路中不存在MOS管构成开关，因此从输入到输出之间的负载一直处于工作的状态，电路的电能利用效率较低，同时也带来了发热的问题，并且输入电压越高，效率越低，发热也就越严重。另外，由于线性元件的特性决定了其只能降压，因此输出电压必须小于输入电压，上述两点限制了输入电压的范围。采用线性降压方式的锂电池充电芯片的典型代表是LTC4054芯片，该芯片具有上述所说的电路简洁、成本低廉、反应速度快等优势，并且具有与同类芯片相比充电电流大，可靠性高的优点。

开关型充电方式的基本思路是将直流电流转换为高频脉冲，控制开关器件的开关，并将能量存储于电感、电容等储能元件中，然后按照预期的要求将电感、电容中的能量释放出来，以控制输出电压和电流。开关型充电方式的优点主要是：器件工作在开关状态下，静态消耗电流较小，能量利用的效率高，发热量低；开关型器件结合外围电路可以构成升压、降压电路，因此输入电压的范围宽，使用的充电电源的范围广泛。开关型的充电芯片的典型代表是LTC4002，该芯片充电电流大，电源的电压范围大、利用率高，同时具有较高的充电精度。

脉冲式充电方式的最大特点是采用具有恒流输出的电压源，结合P沟道的MOS管来对锂电池进行充电。由于采用了恒流输入的电源，不需要采用电感，大大简化了外围电路的复杂度和体积，同时通过电流的MOS管工作在开关的状态，因此电源的利用效率高，发热较少，输入电源电压的范围大。可以说，与线性降压式充电相比，这种充电方式具有线性降压式充电的大部分优点，但是缺点是输入的电源必须具有恒流输出特性，这就限制了外部充电电源的选择。

典型锂电池充电芯片

1. 线性降压充电芯片

LTC4054：800mA的独立锂离子电池充电器

LTC4054是采用线性降压方式的锂电池充电芯片的典型代表。该芯片的设计充分考虑了锂电池充电过程中的恒流模式和恒压模式，提供的最大充电电流为800mA，并且最终的浮充电压的精度为1%。LTC4054由于采用了内部的一个P沟道的MOS管和热调节电路，因此不需要采用二极管以及检测电阻，大大简化了外围电路的设计，仅仅需要两个外部器件便可构成锂电池的充电电路，因此该芯片构成的充电电路一般较为简洁 ，而且成本低廉、反应速度快，并且与同类芯片相比，充电电流大、可靠性高。图1是LTC4054的典型应用电路。

在典型应用电路中，电源和地之间加了一个稳压、滤波的保持电容，可以使得芯片工作更加稳定。3脚与锂电池直接相连，

提供600mA的电流，电流是通过PROG引脚进行设定的，具体的公式是：

$$I_{CHG}=\frac{1000V}{R_{PROG}}$$

这样一来，如果将分母上的电阻取1.65kΩ，得到的充电电流值为600mA。如果我们采用典型电路来DIY我们的锂电池充电板，其好处是显而易见的，可以将电路板做得很小，做成mini形式的，容易集成在我们的一些便携物品中，如手电、玩具等，成本也比较低廉。如果对充电速度和电源利用率要求不高的话，就可以采用这个设计。

但是这个典型应用电路的设计也存在局限，首先它没有充电状态指示，而该芯片本身具有充电状态指示引脚，仅需要将一个限流电阻和一个LED连接到该芯片的1脚上，就能在充电时驱动LED，实现状态指示。另外一点局限是，该电路的电源输入电压范围有限，仅为4.5~6.5V，如果我们手头上只有9V或者12V电源，就没办法用该电路直接给电池充电了。

图2所示的电路是国外锂电池爱好者采用LTC4054设计的充电电路。该电路采用了7805类似的线性稳压器稳压，可以采用9V、12V、15V等电源作为充电器的输入。在电源接口和插座旁边的LED分别可用来指示外接电源工作情况和充电状态。同时，该电路为了满足不同充电电流的选择，采用了一个2针的2.54mm插针，如果插针用跳线帽短接，那么充电电流约为220mA，而跳线帽断开时，充电电流约为130mA。

我们具体设计应用电路的时候可以借鉴上面的设计实例。如果要克服该芯片的输入电压范围有限的缺点，可以在LTC4054前面加上LM1085稳压芯片，能将电压的输入范围扩大为6.5~25V，同时也可以充分利用滑动变阻器构成电流可调的部分，实现充电电流的调节。

此外，与之类似的一些芯片，如LTC1732、LTC1733、LTC1734、LTC1998、LTC4052、LTC4053等，都是采用类似的原理，通过线性降压的方式对锂电池进行充电。

另外，值得国人骄傲的是国产的TP4056也是采用类似的原理。图3是TP4056的典型应用电路。

相对于LTC4054的典型应用电路，TP4056的这个典型应用电路优点是具有两个LED作为充电状态的指示器，让用户充分了解当前所处的充电状态。

同时，TP4056的最大充电电流为1A，比LTC4054的最快充电时间要快一些。如果采用该芯片设计电路可以根据具体应用的特点，采用不同的方案，如果需要考虑电路的体积，可以去掉状态指示灯，或者仅使用一个指示灯，另外如果不需要检测电池温度的话，可以去掉温度保护的部分。图4是网友wxx4364238提供的设计成品，这个设计考虑了TP4056的所有的功能，该电路的

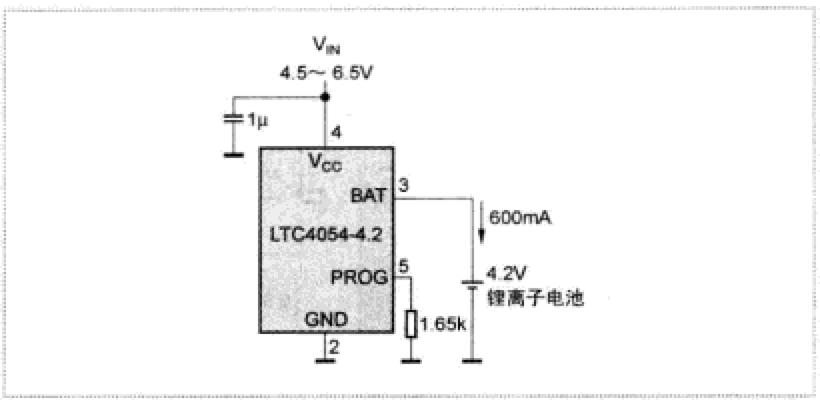


图1 LTC4054的典型应用电路

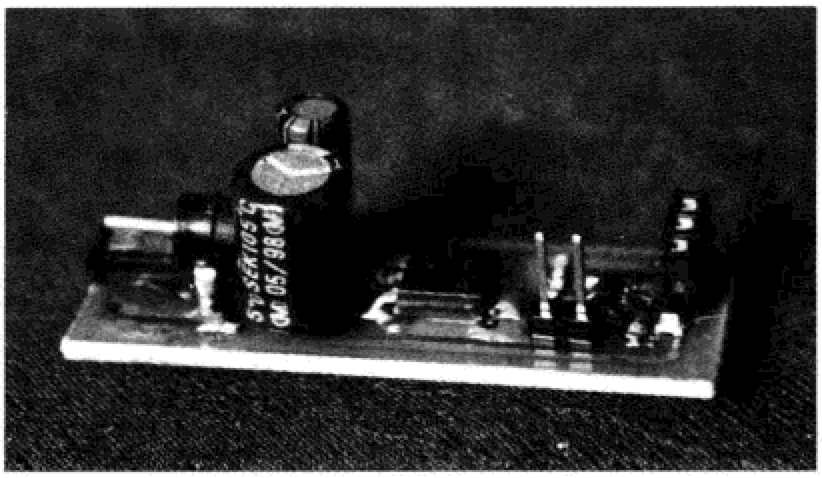


图2 国外爱好者制作的LTC4054电路板

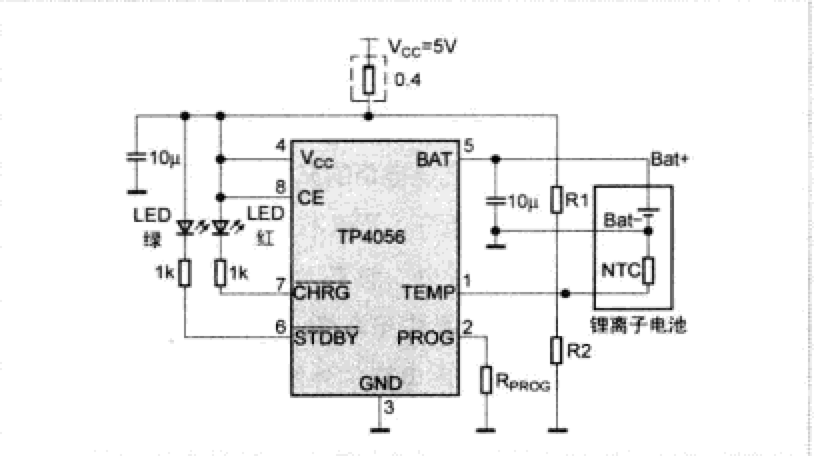


图3 TP4056的典型应用电路

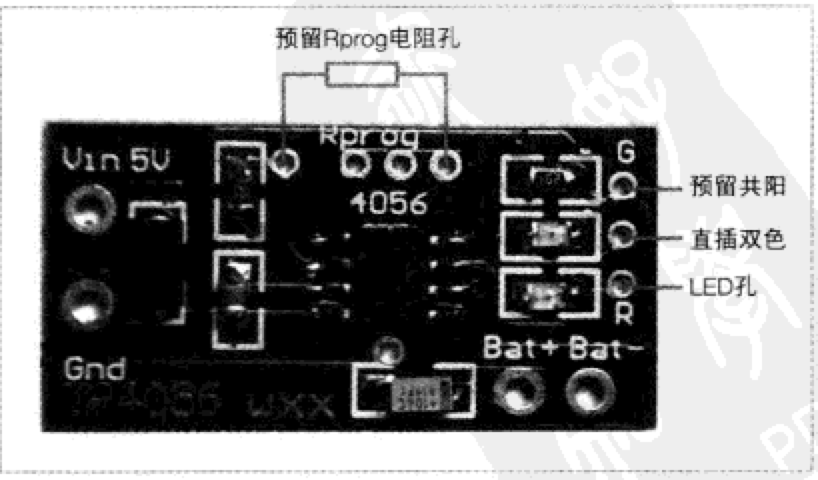


图4 TP4056的充电电路成品图

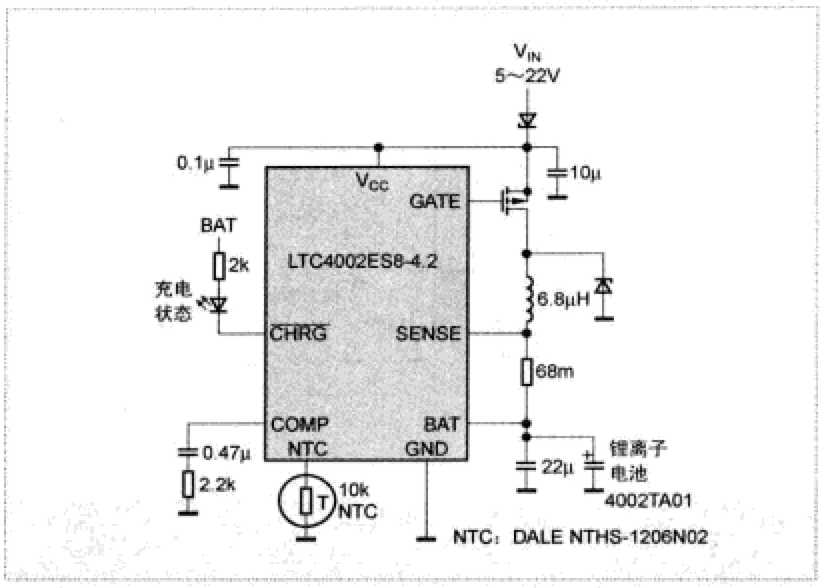


图5 LTC4002的典型应用电路

默认充电电流为1000mA，同时具有充电状态指示的功能，DIY爱好者们可以参考一下。

2. 开关式充电芯片

LTC4002：独立型锂电池开关式充电器

开关型充电芯片的典型代表是LTC4002，该芯片是凌力尔特公司的一款独立型锂电池开关型充电芯片，充电电流大，电源的电压范围宽（最大输入电压可以达到22V），电源的利用率高，同时具有较高的充电精度，具有一节锂电池或者两节锂电池充电的版本。

通常采用该芯片构成的充电电路的充电电流需要外接一个电流采样电阻，如果外部电源断开，那么芯片会自动进入低功耗模式，耗电电流仅为10μA。此外，该芯片的充电过程具有3小时定时功能。图5是该芯片的典型应用电路。

相对线性降压型电路，该电路的外围电路要复杂一些。一个很明显的特点就是采用了一个P沟道的MOS管来控制外部充电电源与锂电池的接通和关断。同时，MOS管与一个电感和一个毫欧级的高精度采样电阻串联后与锂电池相连。因此，相对于一般的线性降压芯片，LTC4002电源的电压输入范围宽（输入电源电压范围为4.5～20V）。相对于LTC4054，LTC4002具有很高的电源利用效率（这对于采用USB作为电源输入的电路具有重要意义），同时弥补了LTC4054大电流充电发热量大的问题，最大充电电流可达10A。但是从该电路也能看出，相对于LTC4054简洁、低成本的外围电路，LTC4002的外围电路要复杂一些，同时体积和成本也有所上升。众所周知，一般电感的体积都比较大，同时高精度的采样电阻的选择也降低了电路的灵活性，而它们的成本也相对高些。

这个电路的设计主要考虑充电电流的设置。充电电流的计算

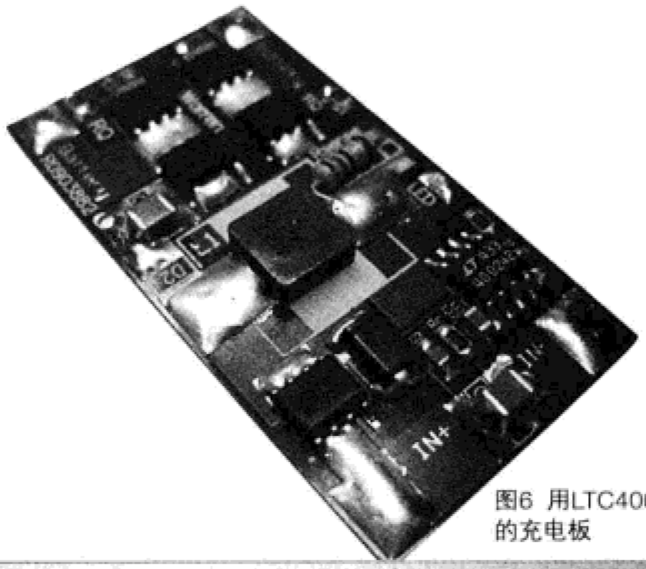


图6 用LTC4002设计的充电板

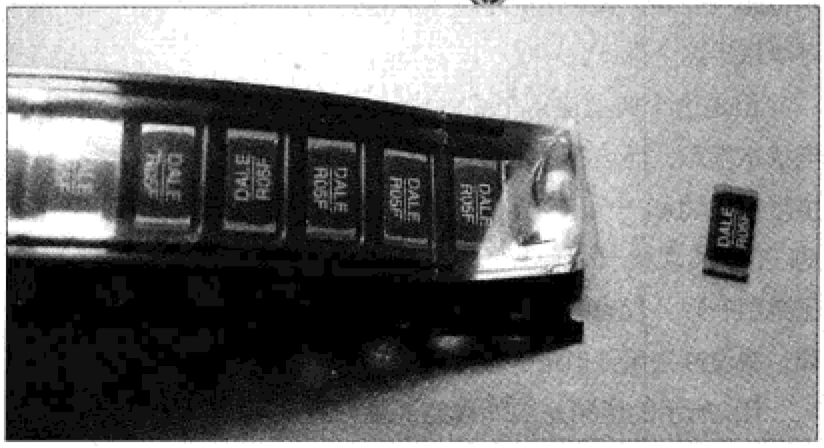


图7 50mΩ高精度电阻

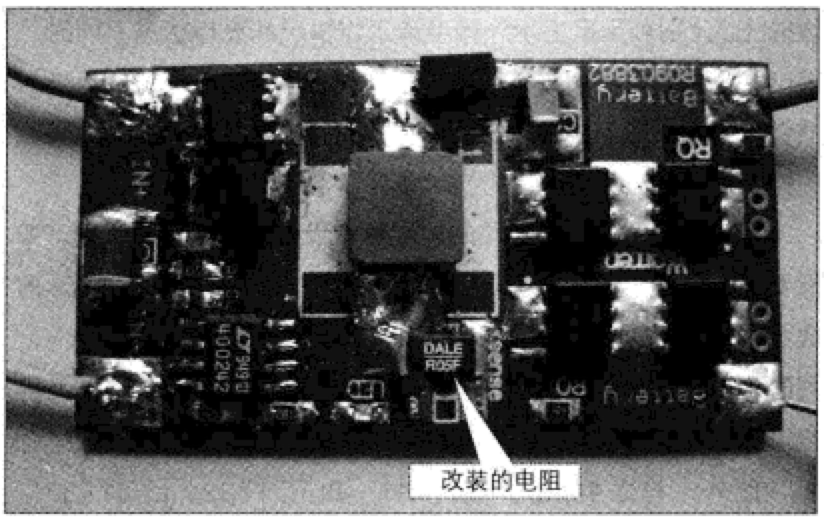


图8 笔者改装后的LTC4002充电电路

图9 对改装的LTC4002电路板进行测试

公式如下：

$$I_{SET}=\frac{1000mV}{R_{SENSE}}$$

R_{SENSE}是连接引脚SENSE和引脚BAT之间的电流采样电阻。R_{SENSE}的选择至关重要，必须为高精度、小阻值的电阻。同时，电路在输入电源和取样电阻之间有一个MOS管，这个MOS管如果导通电阻过大的话，会降低电源的利用效率，因此选用的P沟道的MOS管需要注意导通电阻的大小。这款芯片比较适合追求高性能充电器的DIY爱好者采用。

笔者在网上购买了网店老山东之家用LTC4002设计的超薄电路板（图6），采用了大面积覆铜，可以满足大电流充电需求。该设计输入电压范围为5～20V，输出采用了4个MOS管构成了一个电源自适应电路，锂电池的正、负极可以任意接入。不过由于取样电阻的限制，这个电路板的充电电流只有0.8A，笔者自己将买到的此电路板的取样电阻换为50mΩ的高精度电阻（图7、图8），测试该电路的充电电流，可以达到2A（图9），性能是很不错的。

LTC4001：2A同步降压型锂电池充电器

再来看一下凌力尔特公司的LTC4001，也属于开关式充电方式的芯片，目前也是网友们DIY过程中使用较多的。LTC4001是一款主要面向5V充电器的2A锂电池充电管理芯片，功耗极低，并且无需外部MOS管。相对于LTC4002，该芯片的输入电压范围较小，因为该芯片将线性降压和开关型的充电方式相结合，输入电源电压的范围受限于线性降压的部分。不过，由于一般的集成电路很难将大电感值的电感集成于芯片内部，所以应用中仍然需要外接电感。该芯片采用一种1.5MHz同步降压型转换拓扑结构来减少充电期间的功耗。LTC4001内部包括了完整的充电终止电路、自动再充电电路和一个精度达到1%的4.2V电压检测器，还集成了短路保护电路，因此不需要外接隔离二极管。电池的充电电流、充电时间和充电指示参数都可以由外部元件灵活设定。图10是LTC4001的典型应用电路。

通过该典型电路可以看出，LTC4001构成的充电器的外围电路不是特别复杂，外接电源的电压范围为4.5～5.5V。LTC4001的充电电流由PROG引脚（引脚12）上的电阻设置，计算公式如下：

$$I_{BAT}=\frac{1110}{R_{PROG}}$$

其中PROG引脚所接的电阻可以用普通电阻，这样如果在PROG引脚上连接变阻器，即可调节充电电流。相比LTC4002，LTC4001外围电路省去了MOS管以及采样电阻，大大降低了该芯片外围电路的复杂程度，因此可以将电路板制作得更小一些。同时，2A的大电流充电指标是一般线性降压式芯片所达不到的。

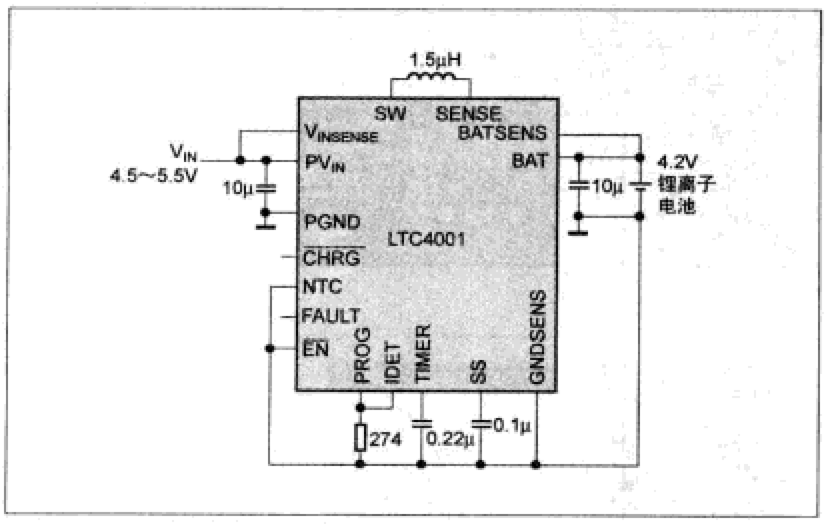


图10 LTC4001构成的充电器电路

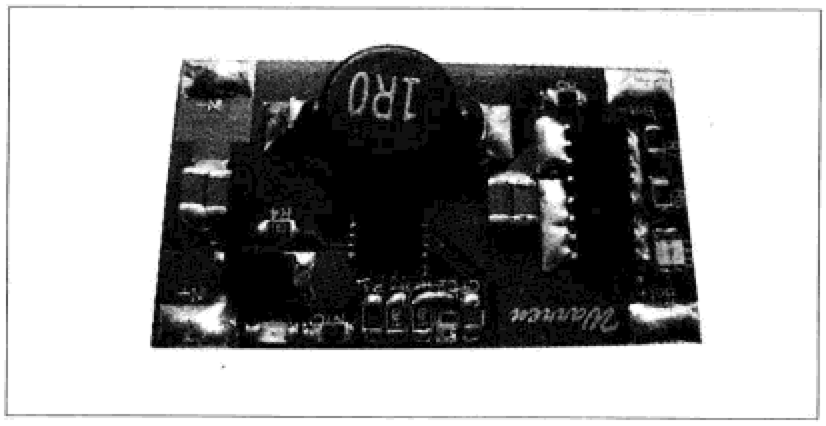


图11 LTC4001充电电路板

但是该芯片的输入电压的范围有限，因此不能用于高输入电压的电源。

图11是网友老山东李采用LTC4001设计的板实物，该电路的特点是体积小，同时充电电流预设为1.8A，充满电压范围可达4.15～4.25V。

3. 脉冲式充电芯片

MAX1879：简单、高效、单节锂电池脉冲式充电器

上面主要介绍了凌力尔特公司的锂电池充电芯片，实际上美信（MAXIM）公司在锂电池电源充电管理方面也有很多芯片，例如采用线性降压的MAX1508、采用开关模式的MAX1879等。下面重点介绍一下开关式充电方式的代表MAX1879。

MAX1879与LTC4001类似，同样是开关式的锂电池充电芯片，芯片配合一个恒流输出的电源、1个PMOS管及几个简单的阻容元件，不需要电感以及采样电阻，便可以构成一个输入电压范围为4.5～22V的锂电池充电电路。由于MOS管一直工作于完全导通或者完全截止的状态，因此外接电源直接连接电池，输入电流可以达到0.001～100A，同时可以极大地降低功耗和发热，而且具有温度检测和定时功能。

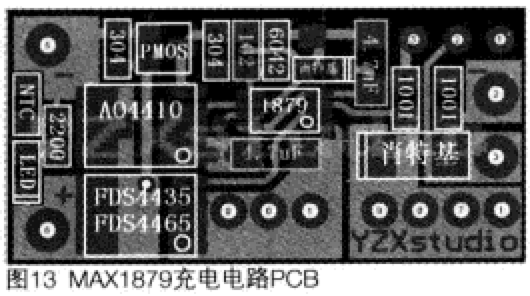


图13 MAX1879充电电路PCB

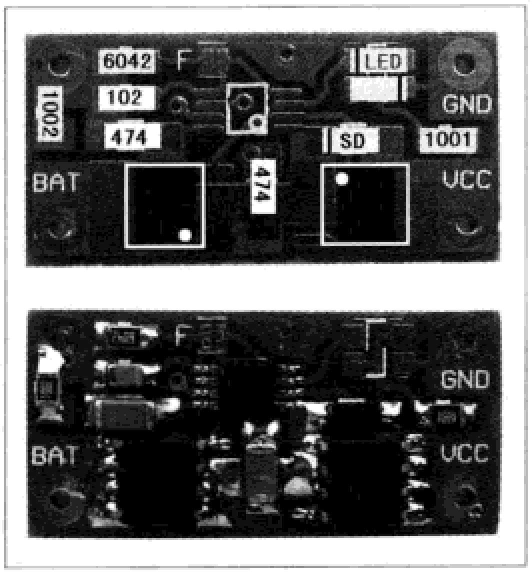


图14 MAX1879充电电路实物

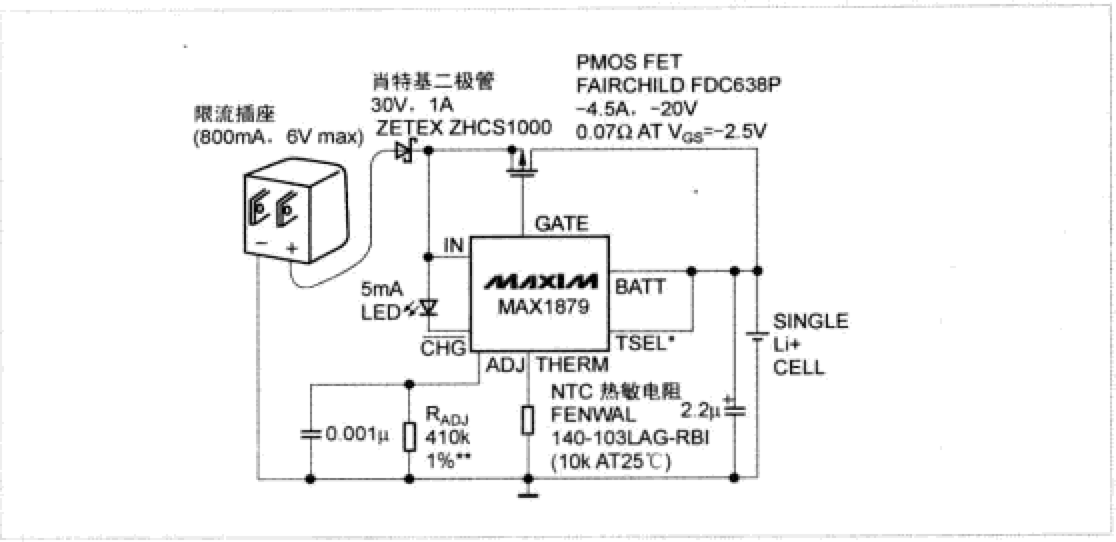


图12 MAX1879典型应用电路

附表　5种芯片的综合比较

	LT4054	TP4056	LTC4002	LTC4001	MAX1879
充电方式	线性式	线性式	开关式	开关式	脉冲式
电压输入范围	4.5～5.5V	4.5～5.5V	4.5～20V	4.5～5.5V	4.5～22V
最大充电电流	较小	较小	大	大	最大
电路复杂度	简单	简单	复杂	复杂	简单
电源恒流输出	无要求	无要求	无要求	无要求	要求

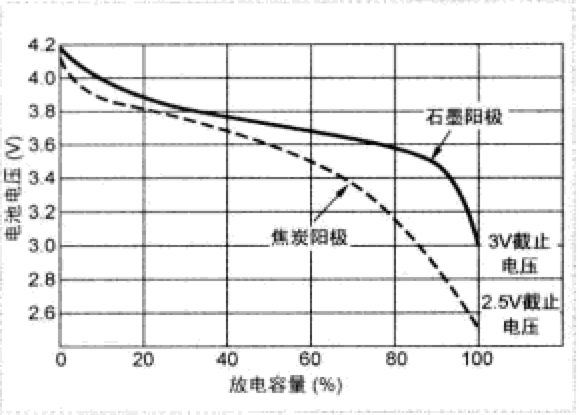


图15 放电曲线

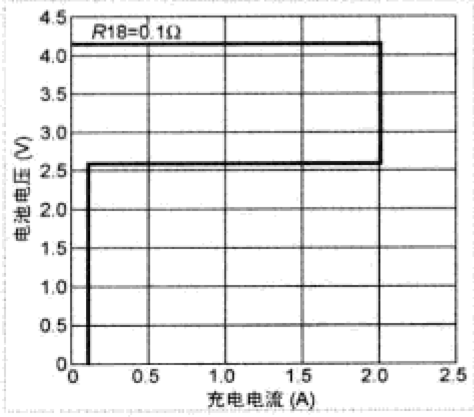


图16 充电曲线

图12是MAX1879的典型电路，典型电路中连接的是一个恒流800mA、最大输出电压为6V的电源。与之前介绍的几款锂电池充电芯片一样，为了保证锂电池的安全，如果锂电池的电压损耗较大，这时应该首先进行涓流充电，MAX1879通过BAT脚检测锂电池的电压，如果电压小于2.5V，则会将内部的一个8mA的电流源连接于BAT引脚，给锂电池充电。当锂电池的电压达到2.5V或锂电池初始电压在2.5～4.2V时，并且满足安全充电的条件（2.5～47.5℃），就进入高速充电模式。这时PMOS管一直处于导通状态，外部恒流源与锂电池相连，充电速度达到最快。这里需要注意一个问题，如果系统检测到温度超过安全范围的话，充电过程会暂时停止。MAX1879每隔2ms检测一次电池的电压，当电池电压达到、超过预设定电压或者高于预设定电压时，PMOS管将会关断，当电池电压再次低于最小充电电压，电池也将会关断一段时间，之后PMOS管导通。这种导通与关断的过程不断重复，直到导通时间与关断时间之比为1:8，快速充电过程结束，此时电池的电量为95%，进入脉冲充电结束阶段。在最初的脉冲充电结束阶段，PMOS管导通和关闭的时间之比也维持在1:8，之后PMOS管的导通时间逐渐减少，直到达到6.25小时，充电结束。

图13是网友智翔电子设计的充电电流高达8A的充电电路PCB，该电路采用LED进行充电指示，同时利用MOS管防止电流反流，该电路的实物电路见图14。不过这个电路在使用时，最好结合锂电池的保护芯片一起使用，以保证电路更加安全。

上述介绍的5种芯片的综合比较见附表，希望读者能够对三种充电方式有一个总体的认识。给电池充电最重要的是要保证给充电电路提供一个可以具有恒流输出的电源，这是由锂电池的充放电曲线决定的，见图15、图16。

了解了上述三种通用的锂电池充电方式有助于我们更好地驾驭锂电池，满足我们DIY的设计需求。不仅可以帮助我们设计出相应的锂电池保护电路和充电电路，甚至可以做属于自己的移动电源。

“积木法”搭建高频合成信号发生器

◎金宏伟

对于无线电爱好者，一台高频信号源是必不可缺的设备。市面上可以买得到各种各样的成品仪器，简单的，如LSG-17（它还有一系列的衍生或者叫山寨产品），复杂的，如安捷伦的N9310A。其实，我们大可以游走于两者之间，DIY一个或者几个适合自己使用的设备。普通的模拟控制的信号源（如LSG-17）其实早已退出商品舞台，我以下的文章里将以数字合成技术为中心来介绍我的高频合成信号发生器DIY过程。

LSG-17　　Agilent N9310　　我DIY 的两台高频信号发生器

高频的设备基本上都是采用了模块化的设计，即使原始的设计者没有这样做，我们仍然可以将他们的设计分解成若干个模块去分析。从最简单的LSG-17的原理图（图1）我们可以看到，一个基本的高频信号源包括信号产生（及频率控制）和信号调理这两大部分。即使是最高级的高频信号源，也只是由于功能和性能的不同，每个部分的内部模块有所区别罢了。我们不妨把这些内部模块当成一个个积木，我的文章也将按上面说的两个部分，分别介绍各种各样的“积木”以及它们的组合方法，读者尽可以根据需求，从这一大堆“积木”中挑选出自己合用的，拼成一个系统，再装入机箱，一台属于你的高频合成信号发生器就诞生了。

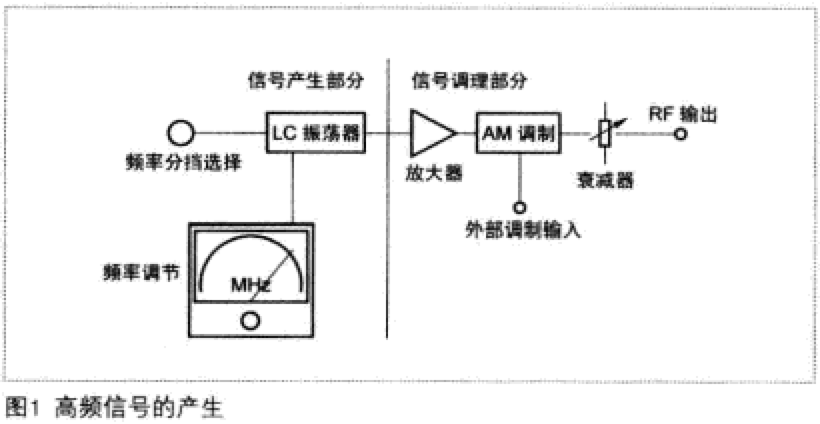


图1 高频信号的产生

作为一个通用的仪器，对高频信号源的第一要求就是要能够产生宽范围的频率信号。下限频率仅100kHz，而上限达1GHz甚至数GHz的商品仪器已很普通。即使在业余条件下，我们DIY的信号源至少也应该有输出几个倍频程信号的能力，但要制作出可以跨数个倍频程工作的模块电路（比如宽带放大器等），仍然是一个不小的挑战。我们先从最基本的起步，逐步拼凑起我们理想中的测量仪器。

第一块“积木”——VCO

产生宽范围高频信号最简单、最基本的方法就是LC振荡电路，但它的工作频率不能进行快速的电调谐（虽然你可以用一个电动机去拧可变电容的转轴），无法与数字合成技术相匹配。而输出频率可以用电压自由控制的VCO（压控振荡器）顺理成章地成为我要介绍的第一块“积木”。

高频的VCO电路，其基本拓扑形式仍然是各种LC振荡电路，比如电容三点式、电感三点式、射极耦合式等，只是用容量可以由电压控制的变容二极管取代了LC谐振回路中的电容，从而实现了电压对振荡频率的控制。变容二极管仅在反向偏置下使用，特殊的PN结的构造使得它的结电容随着反向偏置电压的变

化发生很大的改变。在元件的参数表中，常用C_{T1}表示变容管在反偏压1V时的结电容，而C_{T8}、C_{T25}、C_{T28}则相应地表示为反偏压8V、25V、28V 时的结电容大小。参数表中也会给出变容管的容量比率，比如常用于AM 频段的1SV149，其C_{T1}在500pF以上，而CT8则小于30pF，C_{T1}/C_{T8}通常大于20，是极好的低电压变容二极管。市场上比较容易买到的BB640、BB135、BB811等则可以工作在更高的频段，BB833的最高工作频率甚至可达2GHz以上。

图2是一个输出频率为150～310MHz 的实用VCO电路，对应的调谐电压V_T为0～30V。但在更多的实际VCO 电路中，常采用一对背靠背连接的变容二极管做调谐元件（见图3）。这样可以在一定程度上扩展调谐频带，最重要的是，可以有效地抑制由变容二极管引入的调制噪声，降低VCO 输出的相位噪声。

这里再为大家提供一个1～1.5GHz 输出的VCO 电路（见图4）。制作这个频段的电路，至少要用双面PCB，一面整体作为地，电路印制在另一面。图中的灰色条是一个宽1.5mm、长6mm的印制（或手刻）线，是这个VCO 能够实现宽的频段覆盖范围的重要部分。

为了能方便地设计制作相位噪声更低、频段覆盖更宽的VCO，一些厂商还推出了专用的VCO 芯片，代表产品如摩托罗拉的MC1648、MC12148，MAXIM的MAX2620、MAX2605等。图5所示的VCO电路由MC1648构成，对应0～8V的调谐电压（V_T）输出频率为50～100MHz。想用分立元件搭建出这么宽频率覆盖范围的VCO电路可不容易，更何况还要具备极佳的相位噪声水平。

第二块“积木”——频率运算电路

想要做一个1～1000MHz 的高频信号源！一个VCO 显然办不到，三个甚至五个VCO逐个切换，最多也只能实现50～100 倍的频率覆盖。而且这么多的VCO，控制和切换起来就是个大麻烦，更何况还要要求每一个都具有足够的稳定性和准确性。想实现1000 倍甚至更高的频率范围，那难度更不可想象。怎么办？我下面将谈到的频率合成技术就是为解决此问题而来。

频率合成技术是现代电子系统和装备的重要基础，至今已蓬勃发展了近80年，新型的频率合成器和频率合成方案仍在不断涌现，它的应用范围也在持续地扩大。频率合成技术主要分三类，实际上也是它的三个发展阶段：一是直接频率合成技术，利用多个基准信号源（早期如石英晶体），通过混频、分频和倍频获得一系列组合频率；二是锁相环技术，是一个闭环的相位控制系统，简称PLL，发展至今已相当成熟；三是直接数字频率合成技术，它完全采用数字信号处理技术，输出的频率和相位可以在数字处理器的控制下精确而快速地变化，并且可以高度集成化，简称DDS。

时至今日，这三类频率合成技术实际上一直都在互相渗透，协调发展着。它们的技术基础都是通过对频率的“加、减、乘、除”来实现的。下面我要介绍的就是能够实现频率四则运算的几个基本部件。

1. 混频器——加减法器件

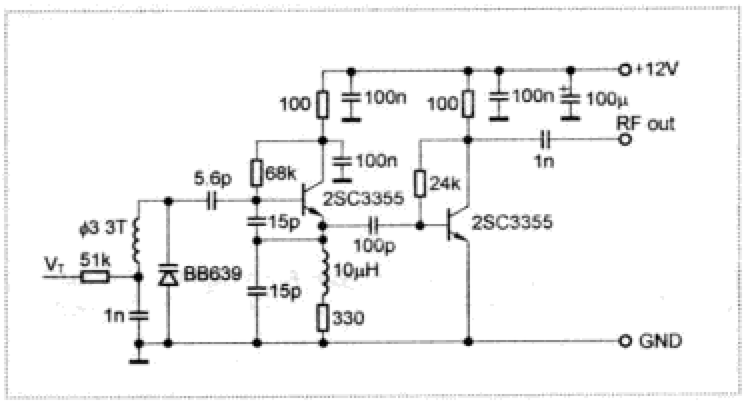


图2 一个输出频率为150～310MHz 的实用VCO电路

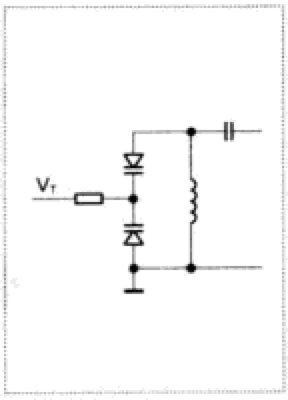


图3 采用一对背靠背连接的变容二极管做调谐元件

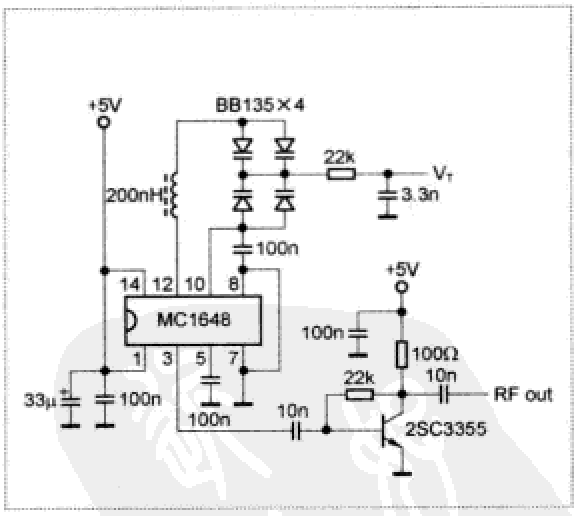


图5 由MC1648构成的VCO电路

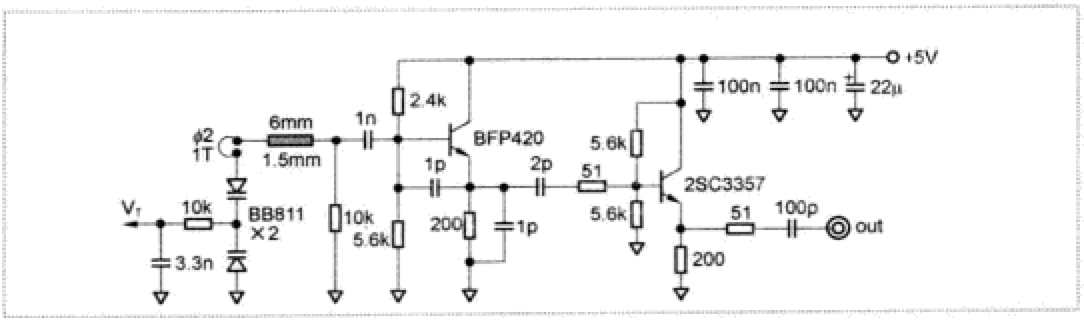


图4 1～1.5GHz输出的VCO电路

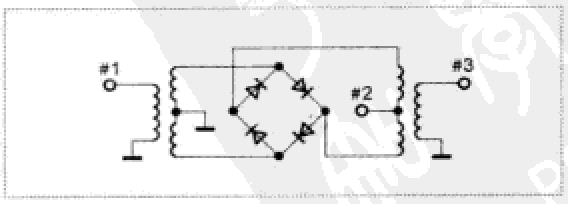


图6 环形混频器原理图

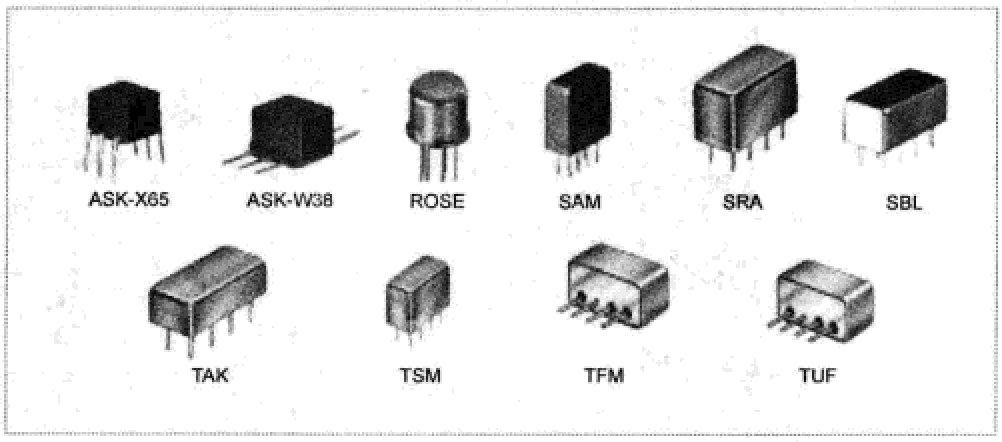


图7 Mini-Circuits 公司出品的各种环形混频器

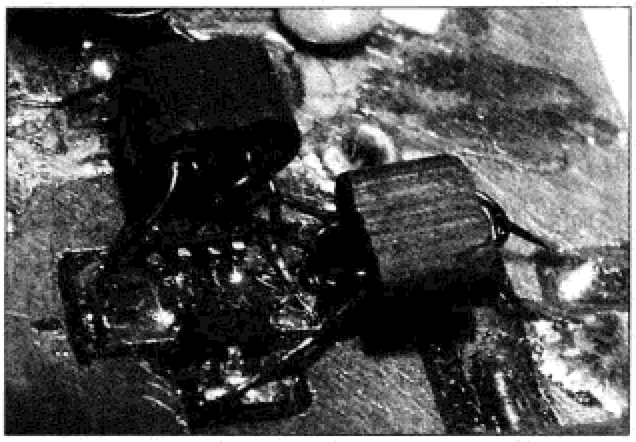


图8 笔者制作的二极管环形混频器

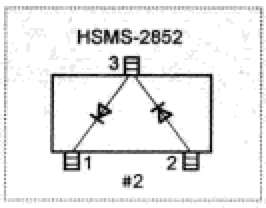


图9 HSMS-2852型肖特基二极管内部连接方式

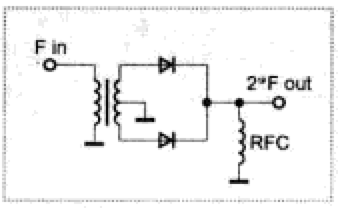


图11 倍频器原理图1

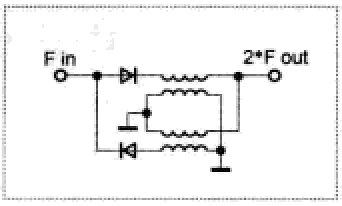


图12 倍频器原理图2

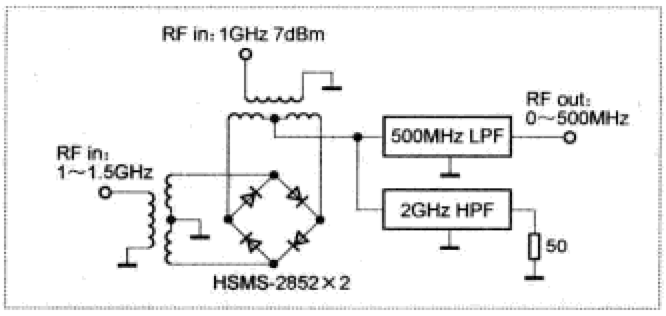


图10 混频器用来做频率减法的实例

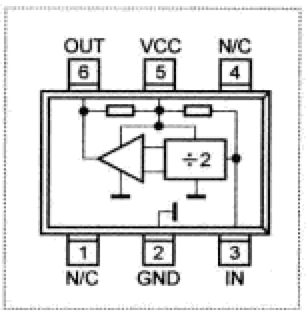


图14 Hittite微波公司出品的HMC432

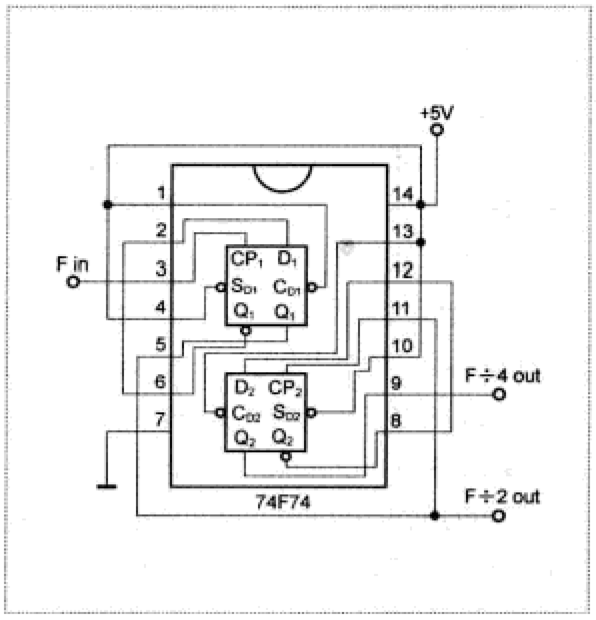


图13 74F74 用作分频器时的接线图

利用非线性半导体器件（比如二极管），对两个不同频率的信号进行混合，就会产生包括两者的和频与差频在内的新频率，再通过频率选择部件——滤波器，就可以将所需的差频或和频提取出来。

用于1GHz 以下频率的混频器几乎无例外的都是双平衡混频器（DBM），在它的输出信号中，两个原始的输入频率成分被衰减，只保留了两者的和频与差频成分，从而简化了输出滤波器的设计。DBM 的构成方式有几种，其一是集成差分式（Gilbert 单元）混频器，如MC1496、NE602等。但在具体应用中，更多是采用4个二极管构成环形混频器。它的结构简单、制作容易、输出频谱干净、动态范围大、适用频率范围极宽，见图6。

环形混频器3个端口的选择并无定论，但一般总会把端口2留给频率最低之用。端口1和端口3中，至少有一个会作为输入端口，而且输入信号至少应该有一个功率在7dBm以上，用以驱动DBM 的二极管环，使它们稳定可靠地进入开关状态。

在市场上有很多二极管环形混频器成品出售，性能相当高，即使价格贵了点，在业余条件下，也应该作为首选——这个付出肯定是值得的。SBL-1、TUF-1、SRA-1 等均是著名的Mini-Circuits公司的产品，有各种不同的封装，涵盖500Hz~4.3GHz 的工作频率，见图7。

自制二极管环形混频器的最大难点在于两个宽带变压器的制作和混频二极管的选择。图8给出了一个做得算不上好的实例。

照片中的两个双孔磁环应选择表面略带棕色的镍锌磁环，这样可以让这个混频器一直工作到1GHz 甚至更高的频率。两个带有“P2F”标注的元件是安捷伦出品的HSMS-2852型肖特基二极管，每个封装内含两只相同特性的管子，内部连接方式如图9所示。如果工作频率不太高的话，混频二极管也可以用1SS86 等肖特基二极管代替。用低起始电压的肖特基二极管做混频，可以降低对混频器驱动功率的要求。

实际上，得益于HSMS-2852 的优异特性，我做的这个混频器用0dBm的电平驱动就已经工作得很好了。如果工作频率不高，而且你有足够功率的信号来驱动混频器的话，用高频开关二极管来做混频器也是相当好的选择。

在高频信号源中，混频器主要用来做频率的减法。图10给

出了一个简单的实例：使用一个1GHz 的固定频率振荡器和一个1～1.5GHz 的可变振荡器，两个信号做混频，将产生2～2.5GHz 的和频与0～500MHz 的差频输出，和频经2GHz HPF（高通滤波器）在50Ω 电阻上被终结（这段电路对二极管环形混频器来说是必须的，否则多余的和频信号将在混频器内被来回反射，造成混频器的工作紊乱），差频则经500MHz的 LPF（低通滤波器）输出。此方法可以生成覆盖10个倍频程以上的高频信号，同时信号的频谱纯度也相当好。

2. 倍频器——乘法器件

倍频器能将输入信号的频率进行倍乘，可以简便高效地扩展信号发生器的频率范围，但同时也会将输入信号的相位噪声放大同等倍数，使得频谱纯度变差。所以，真正用于高频信号源中的多是二次倍频器，而且也只有二次倍频器可以比较容易地设计成为宽带形式。宽带二次倍频器从电路形式上看，其实是个全波整流器。如图11所示。

图11是典型的全波整流电路，倍频同时产生的直流分量被RFC短路，输出信号中几乎不含奇次谐波，基波分量也被极大地抑制（较输出的二次倍频分量一般可低至20dB 以上），频率转换的增益大概在-10dB 的水平。这个电路多用在100MHz 以下频段，图12的电路由传输线变压器构成，可以适用于几百兆赫甚至更高的频率。倍频器中的二极管一般均采用超高频肖特基管。

3. 分频器——除法器件

现代的分频器几乎都是由数字电路构成的，最简单的如74系列的74HC390、74F74等。74HC390 是高速CMOS型双二、五、十分频器，最大分频比为100，最高工作频率可达60MHz，实际使用一般在40MHz以下。74F74则是纯TTL电路，内部为双D触发器，可以组成两个除二的分频器，最大工作频率可达100MHz。图13是74F74 用做分频器时的接线图。

MB506 是最常用在廉价频率计中的分频器，通过两个引脚可以设置成64、128 或256 分频，最高工作频率为2.5GHz。图14为Hittite 微波公司出品的HMC432，最高工作频率达8GHz，市场上可以很容易买到的还有4分频的HMC433和8分频的HMC434。数字分频器的输出为方波信号，主要谐波分量为三次及五次谐波，只含有极少的偶次谐波成分，很容易在后续的电路中经低通滤波器滤除。

第三块“积木”——频率选择电路

我曾经DIY过一个自以为不错的100MHz的VCO，使用起来似乎也没啥问题，但我前不久买了一台二手的泰克497频谱分析仪，用它测试了一下这个VCO的输出频谱。如图15所示：很热

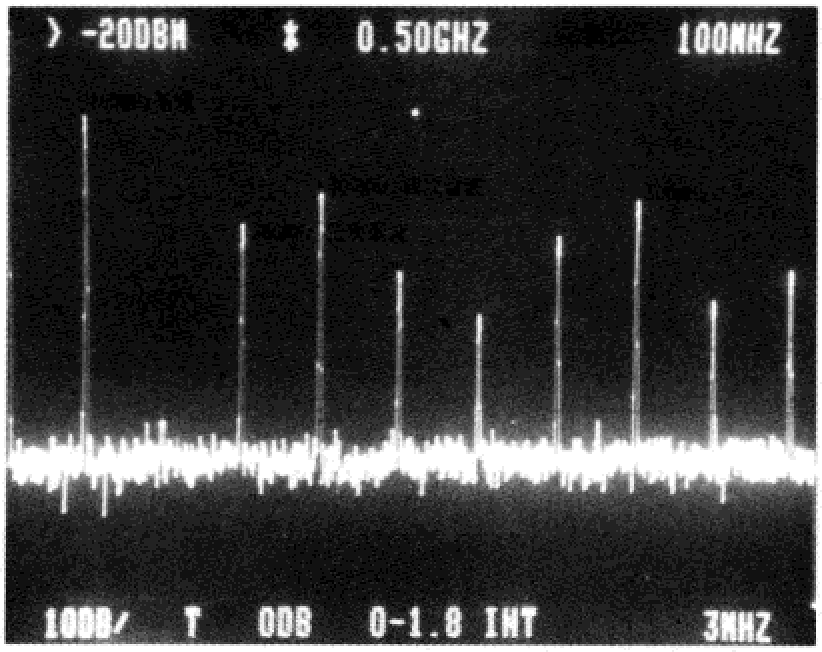


图15 泰克497频谱分析仪测出的这个VCO 的输出频谱

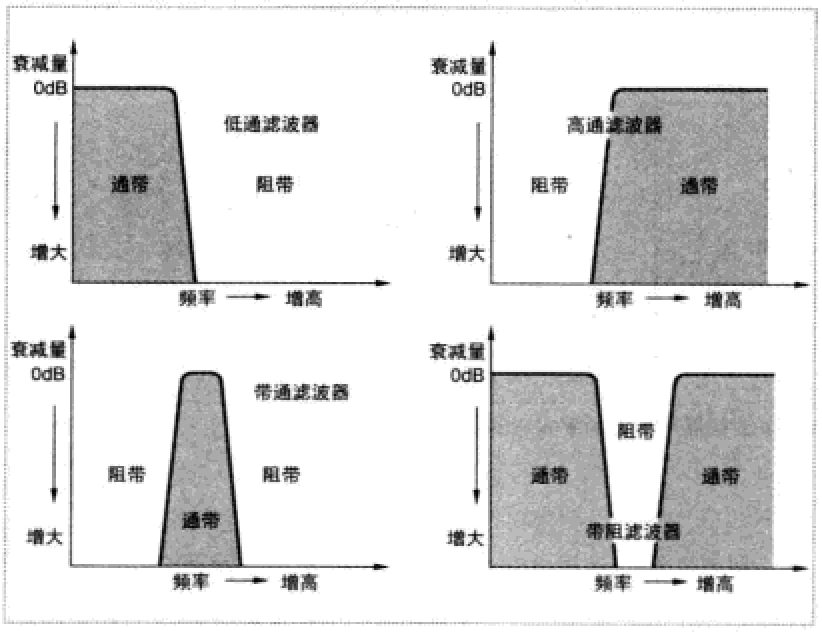


图16 无源LC滤波器的主要类型

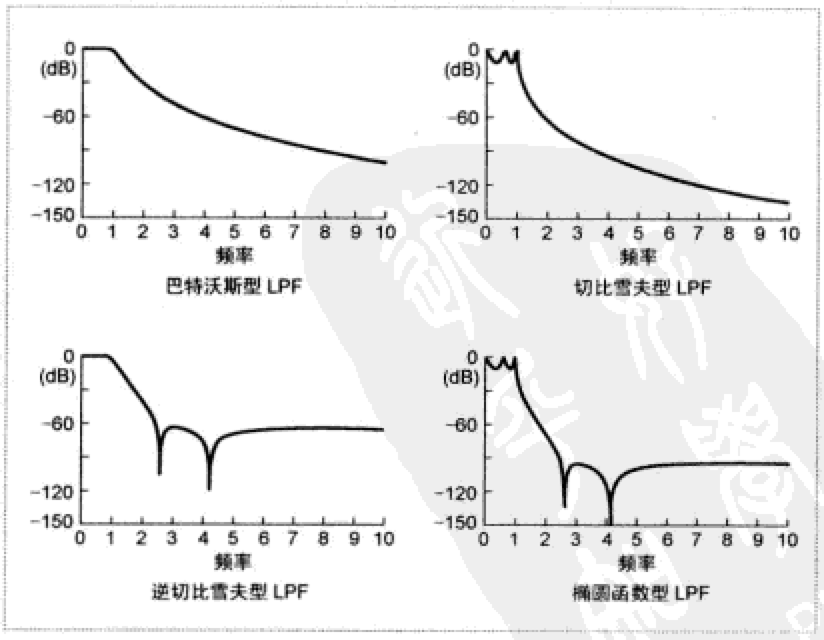


图17 几种函数型滤波器的频率特性

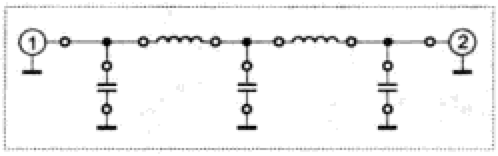


图18 五阶低通滤波器结构图

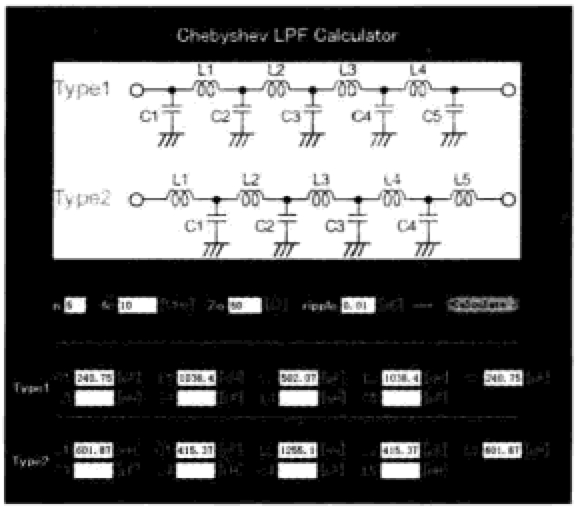


图19 切比雪夫型LPF的计算

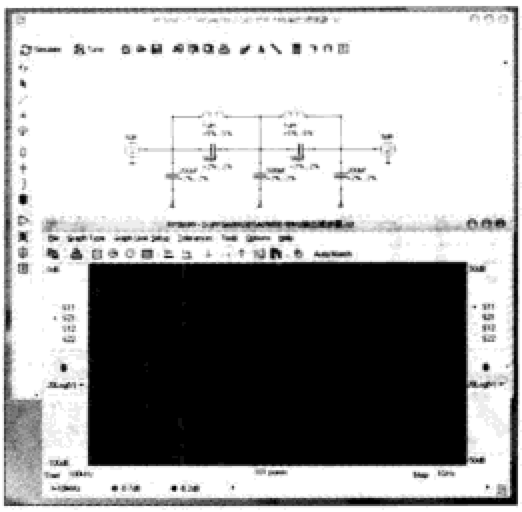


图20 RFSim99使用界面

闹，是吧?

输出的信号中，里面不仅含有100MHz 基频成分，还有300MHz、400MHz甚至800MHz 的高次谐波成分，而且这些谐波的强度也不比基频低很多。不只VCO，混频器、倍频器、分频器的输出更是复杂。实际上，几乎任何高频信号发生装置的输出，如果不经频率选择部件——滤波器过滤的话，都是这样的一团糟！高频信号源中用到的滤波器主要是无源LC滤波器，根据它的频率特性可以分作4类：低通滤波器（LPF）、高通滤波器（HPF）、带通滤波器（BPF）和带阻滤波器（BEF），如图16所示。

其中，低通滤波器（LPF）最为常用，而且从形式上来讲，是其他各种滤波器的基础。滤波器的频率特性都是遵从某种函数形式，如贝塞尔型、切比雪夫型、逆切比雪夫型、巴特沃斯型、高斯型和椭圆函数型等多种，见图17。

各种滤波器的设计计算方法，无论或繁或简，如果逐一介绍的话，恐怕不是本期杂志能够容得下的。以下我们仅从一个简单的五阶低通滤波器（见图18）开始，来讲一下滤波器设计实战三步曲。

滤波器的阶数（也就是级数）越多，频率特性曲线的过渡部分就越陡峭，即滤波特性越好，但代价是元件增加，设计复杂。这里以一个截止频率为10MHz的五阶低通滤波器来做示范。

第一步：设计计算。

很多书上都讲了滤波器的归一化设计方案，网上也有很多不错的滤波器设计工具可以免费使用。我推荐的这个并非最好的，但用起来相当简单：http://www1.sphere.ne.jp/i-lab/ilab/。

进入它的“TOOLS”页，里面的“Low Pass Filter”设计有3种：第一种是最大平坦式的，即滤波器的通带特性最为平坦，但衰减特性也较差；第二种是Chebyshev（切比雪夫）型，通带特性有起伏，但截止特性极佳；第三种是微带LPF，已超出本文的讨论范围。这里我选择了截止特性较好的切比雪夫型LPF。

在图19所示网页的输入框中分别添入：*n*（阶数）、*fc*（截止频率）、*Zo*（阻抗）、ripple（起伏幅度，可不添，默认值为0.01dB），然后按“Calculate（计算）”，计算结果会出现在下面的两组数据栏中。至于选择Type1还是Type2，可以根据自己的实际情况而定，一般我更喜欢电感用得少些的Type1 型。

第二步：仿真分析。

第一步设计得出的LC元件值，基本上都是非标准数值，用仿真软件对实际采用的元件值进行分析比较是非常必要的。在仿真的同时，也可以精确地看到给定的滤波器参数在某些关键频率点上的衰减量，做到心中有数。运用得当的话，还可以在已有的设计中自行增加某些“极点”（如椭圆函数滤波器中的极大衰减点），以达到定点滤除某个特定干扰频率的效果。射频仿真软件高档的有ADS2010等，但我这里向大家推荐一个简单易用的无源网络仿真分析软件 RFSim99，这个软件可以在网上有限免费下载，它的使用界面如图20所示。

图20中显示的就是一个按前述方法设计的五阶LPF，然后我又增加了2个5.6pF的电容，使得其在22MHz 的位置出现一个我需要的极大衰减点。

第三步：实测分析。

设计、仿真之后，我们就可以放心地把这个滤波器真正制作出来了。但在实际的高频电路中，电感含有分布电容，电容和电阻含有引线电感，频率越高，这些不可控而且多余的成分就越大。仿真得再好也需要实测，我们当然可以用信号源逐个对频点进行测量，但一台扫频仪（或者频谱分析仪加跟踪源）才是测试滤波器的真正利器。（未完待续）

◎余立文

自己动手制作 水族控温器

我从事电子行业，业余爱好机电制作，也是一名有近十年时间玩水草造景的水族爱好者，所以对水族器材很了解。这个水族控温电路是我前几年为修复一根水族加热棒而设计制作的，经实际使用效果良好，故整理出来，提供给更多感兴趣的朋友参考。

修复的这支加热棒主要是内部双金属片出了故障，控温温度在32℃左右无法下调，除了这点外，其余完好，虽然加热棒挺便宜的，但丢弃也有点可惜。作为一名电子爱好者，自然就会想到做一个简单的电子控温器去修复它。加温棒控温在32℃左右，刚好可以用来做最后一道超温保护，这样即便是电子控温器完全损坏失控或控温探头意外从水族缸里掉出，都不致造成重大损失。这个控温电路相对于用单片机制作的控温器，没什么优势，但用到的基础电路很实用，是很多爱好者学习复杂电路的基石，也可以为以后设计单片机外围电路打基础。

本文介绍的控温电路设计温控范围为20～35℃，控温精度小于正负1℃（实测小于0.5℃），带负载功率≤500W，具有温度传感器断路短路保护功能，当感温线断掉或短路时会发出声光警报并停止加热，在正常使用中，若水温超过预设温度3℃时，也会发出声光警报并停止加热，能有效保障水族箱水中生物的安全。这水族控温器经笔者实际使用，效果良好，制作也很容易。

工作原理

电路图见图1。主要由温度传感器、测温桥路、带滞后电压比较器、温度传感器状态及超温检测电路、声光报警电路、电源稳压电路、工作状态指示及输出驱动电路等部分组成。

温度传感器R_t是一只密封在环氧树脂中的负温度系数热敏电阻（NTC），其阻值随着环境温度改变呈反比变化，而且接近线性。NTC的标称阻值是指在常温为25℃时的电阻值，相对于铂电阻和集成温度传感器，NTC热敏电阻的主要缺点是线性度较差，但如果测量范围较小时仍然可以获得较好的精度。这类温度传感器广泛应用于家用空调、冰箱、冷柜、饮水机、暖风机、烘干机等场合的温度测量与控制，也完全可以在水族控温领域有良好表现。事实上，现在市场上的成品水族电子控温器基本都是用NTC热敏电阻作测温探头的。图2为笔者实测10K（25℃）温度传感器在15～40℃范围内的数据及根据数据描绘的特性曲线，由此可以看出其线性度在一定温度范围内还是比较好的，这些数据为设计电路时的计算提供了参考依据。

电路核心IC1是一块双电压比较器集成电路LM393，这块IC特别之处是，内部每路比较器输出级是一只集电极开路NPN三极管，这给一些电路设计带来很大的灵活性。电路中IC1的其中一部分IC1B与测温桥路R_t、R1、RP1、R2、R14、R15等组成温度检测电路，并经R3引入适量正

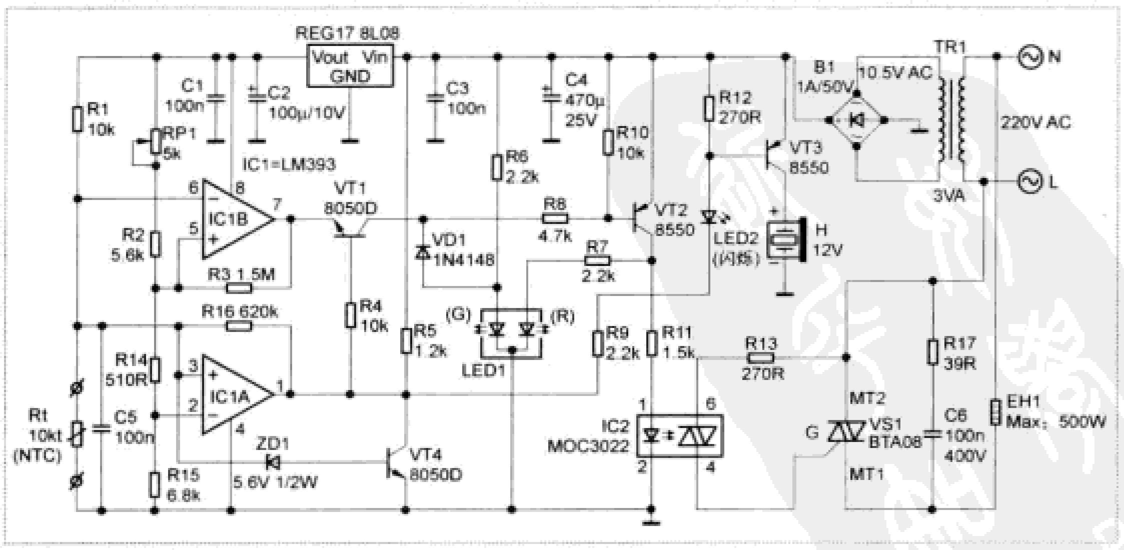


图1 水族温控器电路图

NTC 温度传感器实测数据		
T(℃)	R(kΩ)	
15	16.9	
16	16.0	
17	15.1	
18	14.5	
19	13.9	
20	13.1	
21	12.5	
22	12.0	
23	11.1	
24	10.9	
25	10.2	
30	8.3	
31	8.0	
32	7.5	
33	7.3	
35	6.8	
37	6.2	
40	5.5	

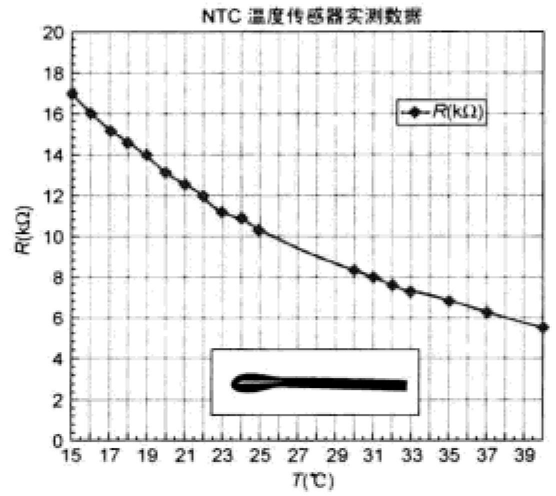


图2 NTC温度传感器实测数据

反馈，使之成滞后电压比较器，这样就使比较器的输出可以干净利落地在高和低之间转换，防止在临界点可能出现的寄生振荡。

整流、滤波后的直流12V电源由三端稳压器REG1稳压后，为电路提供8V基准电压，经RP1、R2和R14、R15等组成的基准电压分压器分压后，输入比较器IC1B同相输入端作基准电压，调节RP1，改变IC1B同相输入端的基准电压，也就可以在控温范围内设置不同的控温温度。而IC1的另一部分IC1A则与R16、ZD1、VT4、VT1、R4、R5及 RP1、R2、R14、R15等组成温度传感器断路、短路及超温异常状态检测电路。IC1A的反相输入端2脚基准电压也是从分压器RP1、R2、R14和R15分压得到，并且也随温度预设电位器RP1调节而改变，IC1A的反相输入端2脚基准电压比IC1B的同相输入端5脚的基准电压低，这是为水温超温保护检测而设置的，设计对应的温度为3℃。当正常使用中，若水温超过设定温度3℃时，IC1A输出低电平，把VT1关断，后续电路也同时关闭，使加热器EH1停止工作，同时触发声光警报电路，从而达到保护水中生物安全的目的。

温控工作过程：

当RT1检测到水族箱水温低于RP1预设温度时，IC1B反相输入端6脚的电位大于同相输入端5脚电位，IC1B输出低电平，而IC1A的同相输入端也是同样接在R_t上，但其反相输入端2脚的基准电压比IC1B的5脚基准电压要低。除异常状态（如测温探头故障以及水温超过预设3℃等）之外，正常时IC1A是一直输出高电平的，VT1的状态也因此由IC1B输出控制。因为此时IC1B输出为低电平，故VT1加有正向偏置导通，VT2也得到偏置而饱和导通，过零触发光耦双向晶闸管驱动器IC2的1、2脚内部红外管工作，IC2的4、6脚内部光敏管导通，使功率双向晶闸管VS1也随之触发导通，加热器EH1得电加热。同时二极管VD1导通，将双色发光管LED1发绿光的G脚钳位在0.7V左右，而发红光的R脚则因VT2导通，经R7注入工作电流，双色LED由发绿色光转为红色光，显示加热器处于加温状态。随着水温的升高，RT1的阻值逐渐减小，IC1B的反相输入端6脚的电位也随之逐渐降低。当达到设置温度时，反相端6脚的电位低于同相端5脚的基准电位，IC1B随即翻转输出高电平，三极管VT1、VT2截止，IC2、VS1也随之关断，加热器EH1停止加热，同时VD1也截止，LED1此时改由R6注入工作电流到G脚而变为发绿色光。以后，水温又将逐渐下降，当降至低于设定值时，又重复上述过程，如此周而复始，使水族箱水温保持在恒定值。

异常状态保护：

若水族箱水温出现异常升高并高于预设温度3℃时，此时R_t的阻值已降到比较低，IC1A同相端3脚电位低于反相端2脚的基准电压，IC1A输出端1脚翻转为低电平，触发由LED2、VT3、H、R9、R12等组成声光报警电路，发出声光警报。

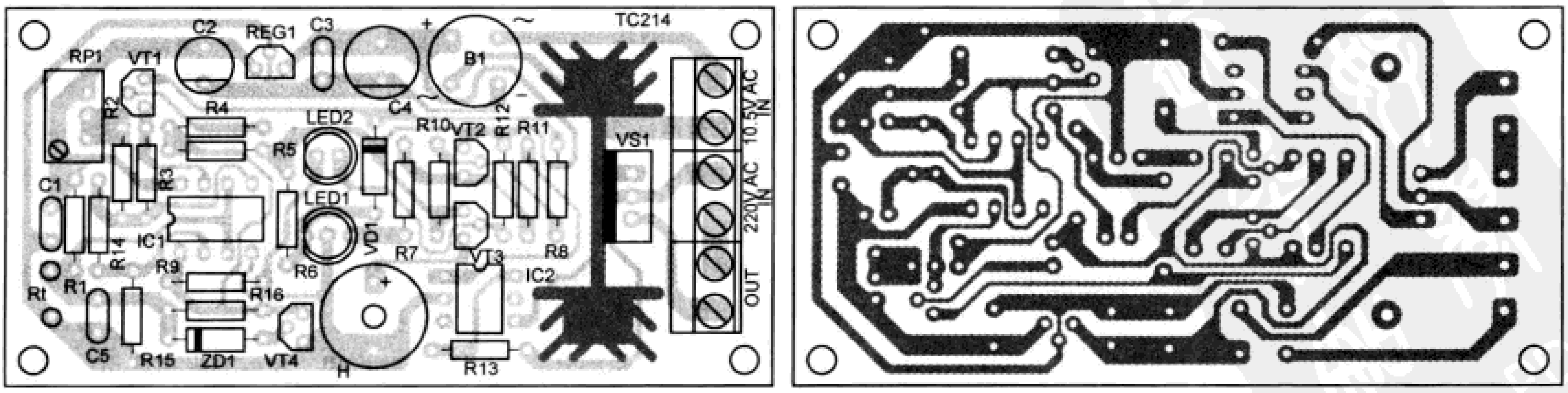


图3 温控器PCB布局及走线

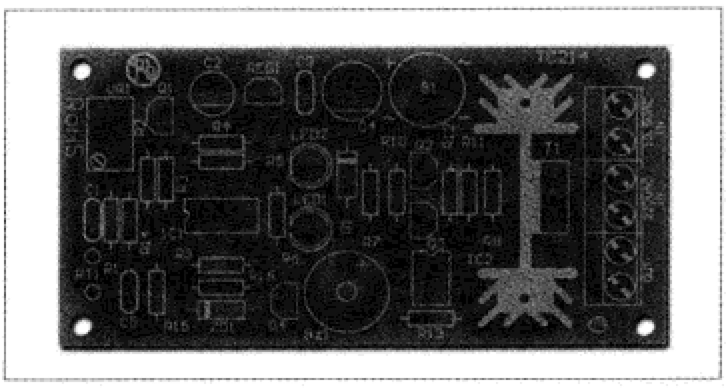


图4 做好的PCB实物

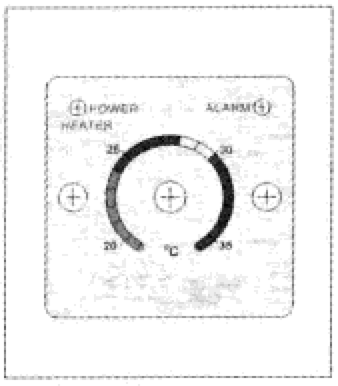


图6 面板贴标图样

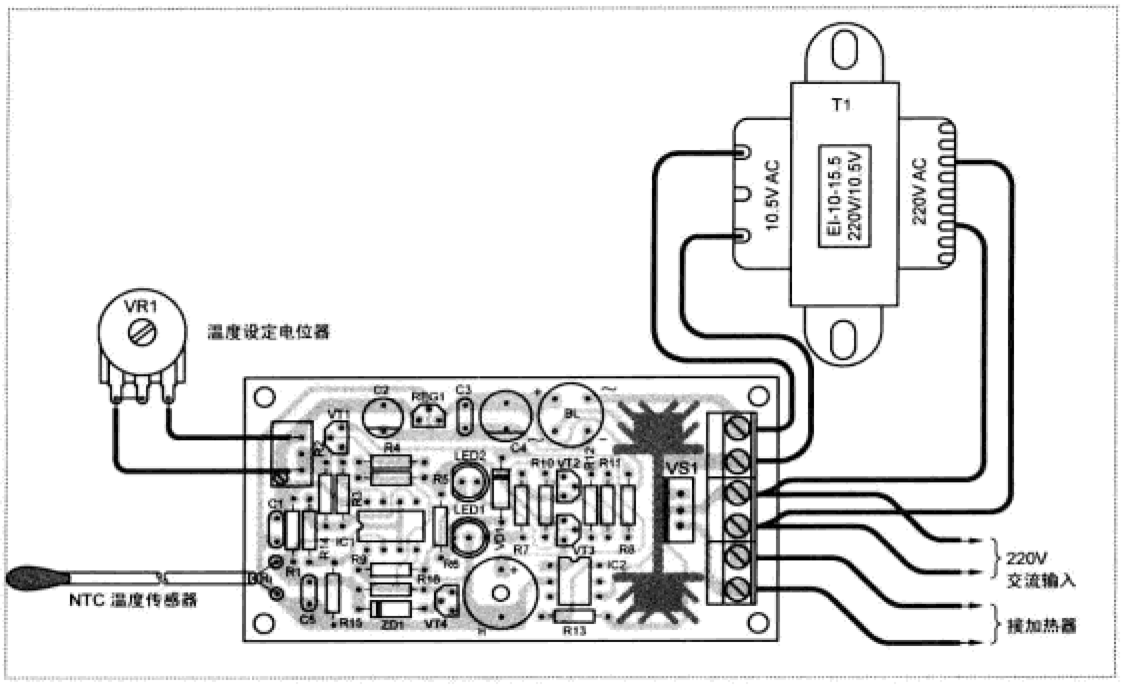


图5 电路板外部接线详图

LED2是一只闪烁LED，当LED2相连的R9另一端为低电平时，LED2就会闪亮，其产生的脉冲电流为VT3提供偏流，使VT3随LED2闪亮而周期性导通和截止，自带音源讯响器H也因此受到调制，随LED2闪烁而同步发出“嘀、嘀、嘀”的报警声。温控器在使用中当感温线出现异常短路时，IC1A因同相端3脚接地，反相端2脚电位高于同相端3脚电位，故IC1输出为低电平，触发声光报警电路发出声光警报。稳压二极管ZD1跟三极管VT4以及周边相关元器件组成传感器断路检测电路，VT4的c、e极跟IC1A内部输出级集电极开路输出三极管的c、e极并联，构成“或”关系。当感温线出现断路时，虽然IC1A同相端3脚跃升为高电位，比反相端2脚高，其内部输出级集电极开路输出三极管截止（因有上拉电阻，这就相当于输出为高电平），但连接在IC1的同相端的ZD1此时也因其负极电位升高而击穿，VT4得到偏流饱和导通，将VT1关断，同时触发声光报警电路发出声光警报。

制作要点

水族温控器PCB元件布局和底面铜印制线图样详见图3，PCB的尺寸是83mm×42mm，实物如图4所示，笔者是将PCB文件传给线路板厂免费打样的，其实单面板用常规热转印方法就可以很容易制作好。

电路所采用的NTC温度传感器是很常见的，在一般元器件商店就能轻易买到。这种NTC温度传感器自带有1m左右的导线，NTC电阻是密封在环氧树脂中，所以用在液体中控温方便、安全。

LED1选用直径5mm变色LED，有3根引脚，分别是绿光、红光及公共引脚，是共阴型。LED2选用闪烁LED，其外观与普通直径5mm的LED相同，内含一块振荡频率为几赫兹的芯片和普通LED管芯，使用时，只需在两只引脚加上额定直流电压5V即可闪亮。据笔者应用经验，实际上闪烁LED在3～5V均能正常工作，而且亮度及闪烁频率差别不大，当工作电压降到2V时仍可闪烁发光，只是亮度较暗。

IC2选用MOTOROLA公司的MOC3020～MOC3023、MOC3041～MOC3043、MOC3061～MOC3063、MOC3081～MOC3083系列均可，这种器件是专门设计用作功率双向晶闸管的触发器，也很容易买到。双向晶闸管可根据温控器驱动的加热器功率来选取，注意选用时晶闸管参数一定要留多点余量，按晶闸管选用工作电流等于1.5～2倍的负载电流选取，耐压大于400V，可选用常见的BT137F、BTA08等。笔者是选用电子市场很容易买到的BTA08，控制100W的水族加热棒时，连散热片都不用装。

RP1选用5kΩ线性型电位器。注意，一定要选用线性型的，即电位器的旋转角跟阻值是呈线性关系的，否则在组装后温度刻度间隔是不均等的，会给制作温度刻度标贴和调试校对刻度及使用带来不便。

因为整机耗电不大，电源变压器选用小型2～3VA就可以。电路所有电阻均选用1/4W碳膜电阻，而小电容采用体积较小的独石电容或涤纶电容。其余元件没有特别要求，按电路图标注参数选用即可。

整个线路板安装在86式明装开关盒里面，在买开关盒面盖时要选那种预留开关盒盖，它只是一个空塑料面盖，是一些预装86式开关盒的备用盖子，在市场上很容易买到的，买回来后再根据组装需要画线钻孔就可以。由于一直没买到合适的温度设置旋钮，最后笔者是选用一个LG竹盐牙膏的盖子来改装的，从废旧的旋

钮中拆出铜芯，用AB胶粘牢在牙膏盖中间，再用笔在盖子边画上竖直短线作为旋钮指针刻度就可以了。安装后跟86式开关盒还是挺般配的。

LED1、LED2和RP1安装在已预先钻好孔的面盖上，其中LED1、LED2要用AB胶粘牢固定，电路板接线详图如图5所示，温控探头引线和电源进出线要先安装在钻好孔的底盒一侧，预留适当长度，并用AB胶粘牢。

温控器面板需要贴一张带温度刻度的标贴，用CorelDRAW就可以非常方便地设计尺寸准确的面板标贴，将其打印在不干胶纸上，再剪下贴在面盖相应位置即可，原大小面板标贴设计图样如图6所示。制作组装好的水族温控器实物照片如图7、图8所示。从图中可以看出，实际上笔者在组装时并没有用到交流电源变压器，而是用体积更小的12V小型简易开关电源，原因是笔者所采用的外壳是比较薄的那种明装86式开关盒，在最后组装时才发现电源变压器无法装进去，因为厚度不够。只好另外做了一个12V小型简易开关电源，这种电路常用于手机充电器电源，电路图见图9。

笔者根据手头盒子的空间设计了PCB，元件布局和底面印制铜线图样如图10所示，PCB尺寸为36 mm×24mm。电源的脉冲变压器在一些元件店是很难买到的，这可以在一些旧充电器上拆用。笔者是用一个闪光灯升压变压器的磁芯和骨架自己手工绕的，而三极管是电子节能灯常用的管子，很容易买到，也可以在废旧的电子节能灯上拆用。

调试校准

这个温控器调试校准很简单。首先要把温度预置电位器逆时针调到最小位置，将旋钮的刻度指针线与面板标贴起始位置的刻度线对准，装好旋钮，然后将温度预置旋钮顺时针调到指向25℃位置。接下来，用一只10kΩ多圈可调电阻串联一只几千欧电阻，替代线路板上的R1。找一个大一点的容器装上水，将温控器的测温传感器放入水中，并用水银温度计测量水温，一边观察温度计，一边用热水或冰块勾兑搅拌，将水温调到25℃，然后调节10kΩ多圈可调电阻，使线路板上的LED1刚好由绿光转换为红光，接着将水温勾兑到35℃。顺时针调节温度预置电位器，当旋钮指针刻度指向面板温度刻度35℃位置时，LED1应刚好由红光转换为绿光，再用同样方法核对一下20℃刻度。

校对完之后，用万用表测量10kΩ多圈可调电阻和串联电阻的总阻值，根据测量结果挑选相应的电阻替代R1即可。由于测温范围较小，所以NTC的线性度也较好，故通常校准一点，其他的刻度也基本就对得上了。

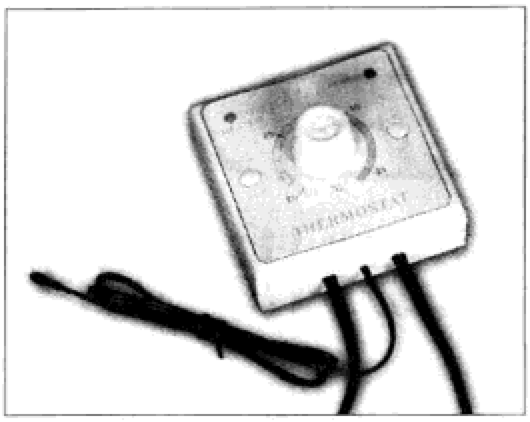


图7 外形实物

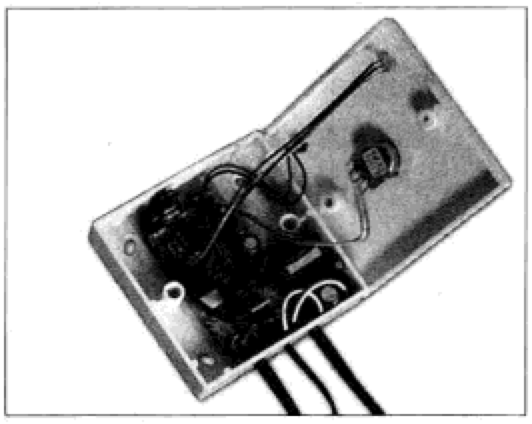


图8 内部电路实物

如果你用好的水族加热棒，配合本电子控温器使用时，因为加热棒本身已经自带有双金属片机械控温器，故需将加热棒调到比电子控温预调高3～5℃，或者根据自己的实际情况设定，但不可比电子控温器低，至少要高3℃以上才较为合适。这样，加温棒自带的双金属控温器就可以用来做最后一道超温保护，即便是电子控温器完全损坏失控，都不致造成重大损失，有效保护水中生物的安全。

这个控温器并非只能用于加热棒控温，只要稍作变通，配合半导体致冷片就可以在夏季用于小型水族箱制冷控制，你还可以用它制作水族箱外置加温器。总之，发挥你的想象力，一切概念都有可能变为现实。

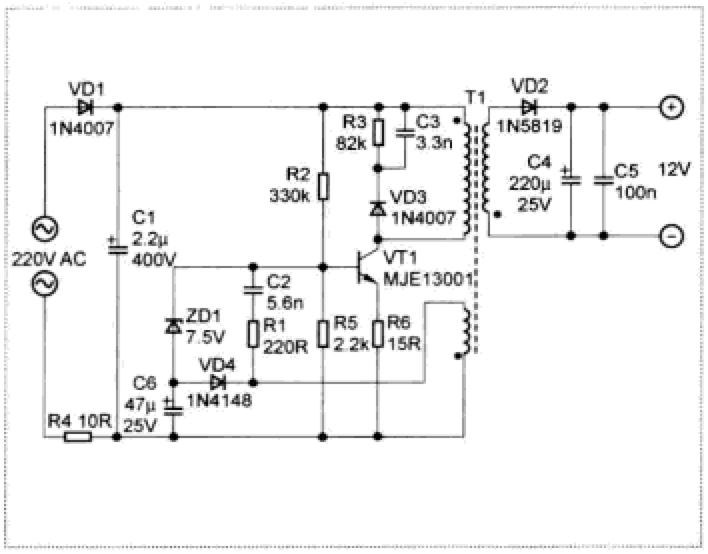


图9 12V电源电路

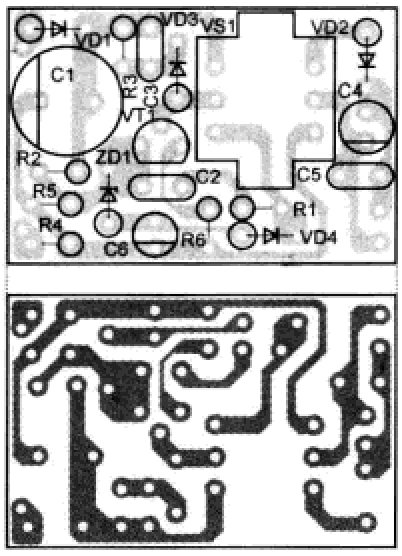
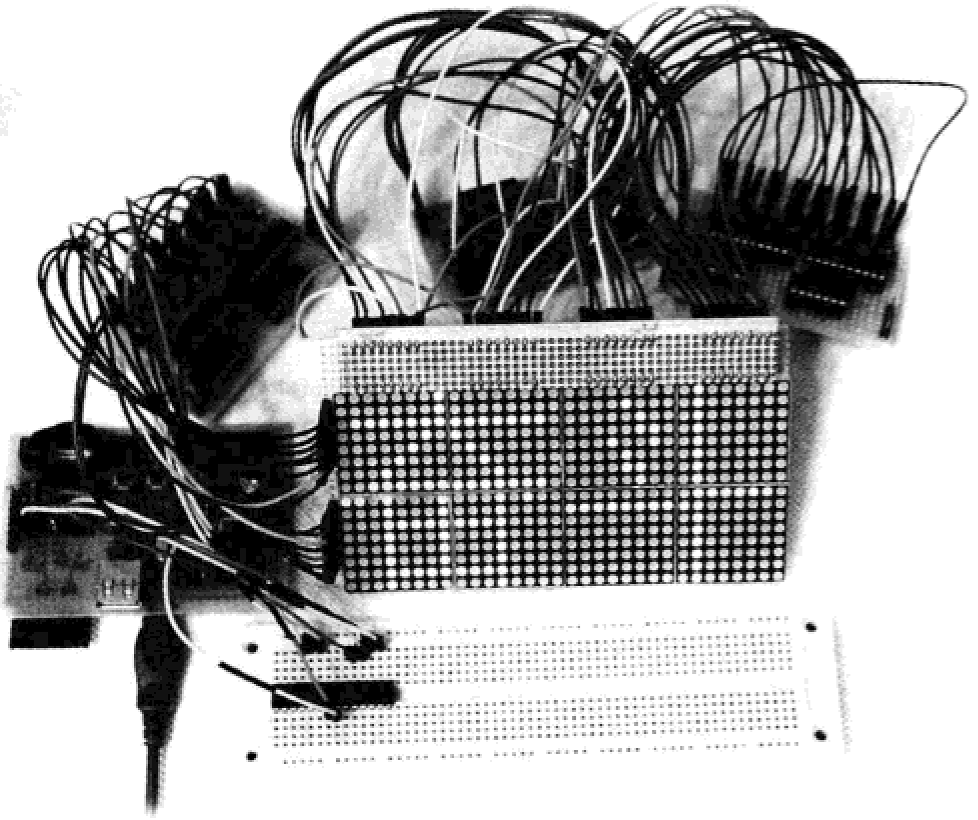


图10 电源电路PCB布局及走线

◎张彬杰

LED便携指示牌



前段日子，去了次银行，忽然发觉银行指示牌的功能不错。LED指示牌不仅在银行使用广泛，很多公共场所也常使用，如KTV、停车场、商场等。这使我想起了自己也曾制作过一个类似的作品。当时想到的一个用处是，在自己摆摊时，方便显示自己贩卖商品的信息。几天后又想到一个用处，就是朋友过生日时，显示祝福的话语。接下来，我就为大家展示我制作的LED点阵屏，这次制作并没有制成成品，仅仅通过跳线连接各个已经焊接完成的部件来实现我预定的目标。

主要部件

LED便携指示牌电路的主要部分由M8单片机、SD卡和自制的3块驱动板组成。M8单片机的电源使用1117-3.3电压转换芯片，把USB的5V电源转换为3.3V。SD卡的插槽使用以前实验板上焊接的，不然重复焊接，浪费资源嘛。3块驱动小板是专门为驱动LED而焊接的，每片驱动板有4片数字逻辑芯片，分别为2片74HC164和2片74HC573，并增加16个三极管及16个限流电阻。

74HC164是8位边沿触发式移位寄存器，串行输入数据，然后并行输出。数据通过两个输入端之一串行输入，任一输入端可以用作高电平使能端，控制另一输入端的数据输入。两个输入端或者连接在一起，或者把不用的输入端接高电平，一定不要悬空。

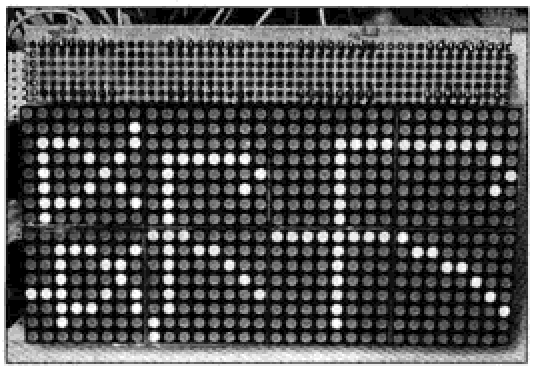


图1 纵向显示

74HC573包含8路D型透明锁存器，每个锁存器具有独立的D型输入，以及适用于面向总线应用的三态输出。所有锁存器共用一个锁存使能（LE）端和一个输出使能（OE）端。当LE为高时，数据从D输入到锁存器。在此条件下，锁存器进入透明模式，也就是说，锁存器的输出状态将会随着对应的D每次输入的变化而改变。当LE为低时，锁存器将存储D输入上的信息一段时间，直到LE的下降沿来临。当OE为低时，8个锁存器的内容可被正常输出，当OE为高时，输出进入高阻态。OE端的操作不会影响锁存器的状态。74HC573与74HC563逻辑功能相同，但输出为反相。与74HC373逻辑功能也相同，但引脚布局不同。

单片机我选择了AVR的ATmega8型号，因为自己比较熟悉。存储器使用了16MB的SD卡（SD卡可能是我每次制作的必备存储工具了）。

最后是这次最主要、最贵的器件——8×8LED点阵屏。

指示牌使用了8片8×8LED点阵屏，组成了16×32的点阵大小。它可以显示两个16×16的汉字，效果如图1所示，让汉字既可横向显示，又可纵向显示。当然，它还可以方便地扩展，组成更长的LED屏幕。

这次制作的LED屏的接口仅仅使用3条连接线：数据线、时钟线和锁存线。那么，怎样实现3线控制LED的显示内容呢？其实，关键是使用了锁存芯片74HC573和串口转并口芯片74HC164。

LED的行、列线的驱动，可通过锁存芯片74HC573来实现。但是我担心它的电流会使屏幕偏暗，所以使用了三极管来放大电流，然后又使用了100Ω的电阻，限制LED列电流，防止电流过大，烧毁发光二极管。

为什么要使用74HC164串口转并口芯片呢？因为如果仅仅单独使用74HC573，那么驱动这个屏幕就需要48个引脚了。要是LED屏幕制作成更长的、更大的，那岂不是需要更多的I/O口了。于是，我用串口转并口芯片74HC164来解决引脚不够的问题。这样，只要用数据线和移位时钟线，就可以控制几十甚至几百个I/O口来传送数据了。

由于我使用了以前实验板上焊接的SD卡插槽，本电路中的单片机插在了面

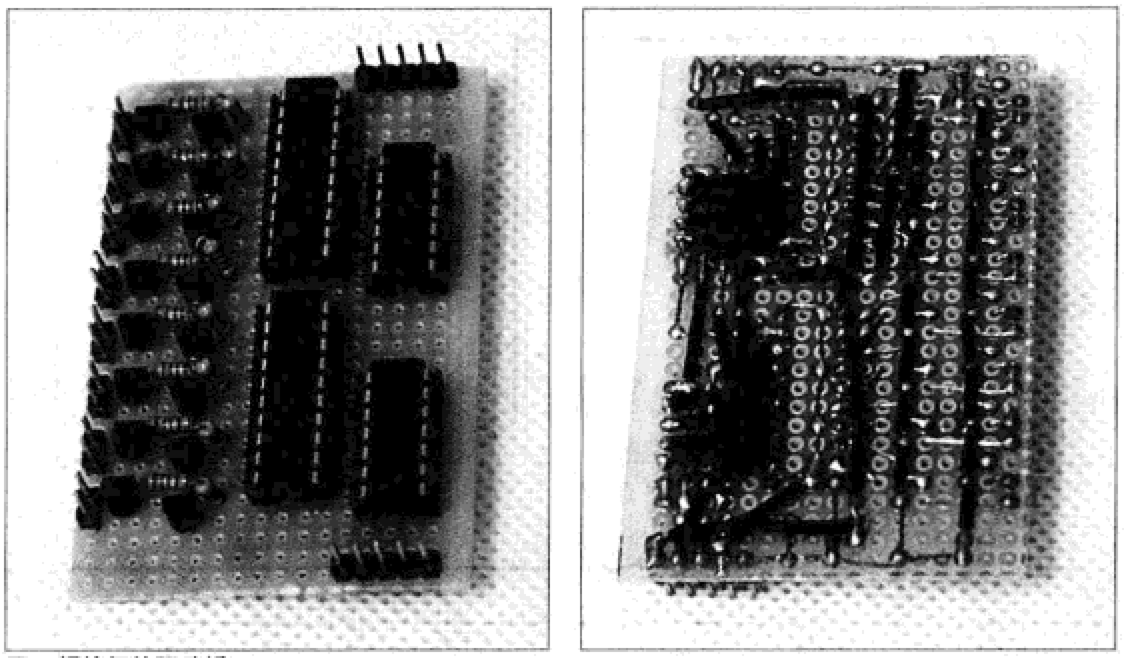


图2 焊接好的驱动板

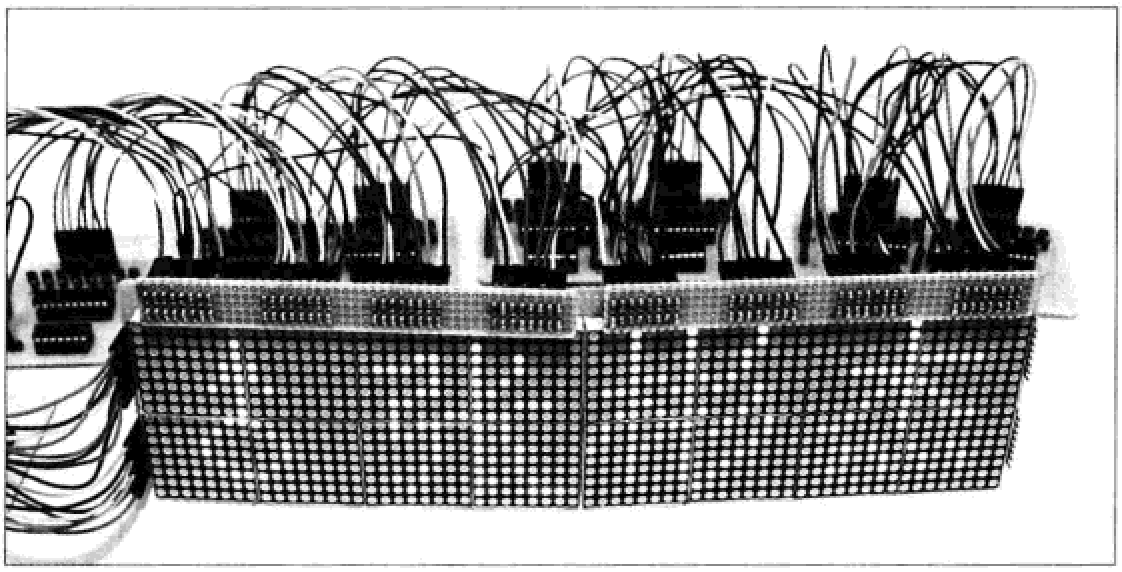


图3 焊接完成的点阵屏

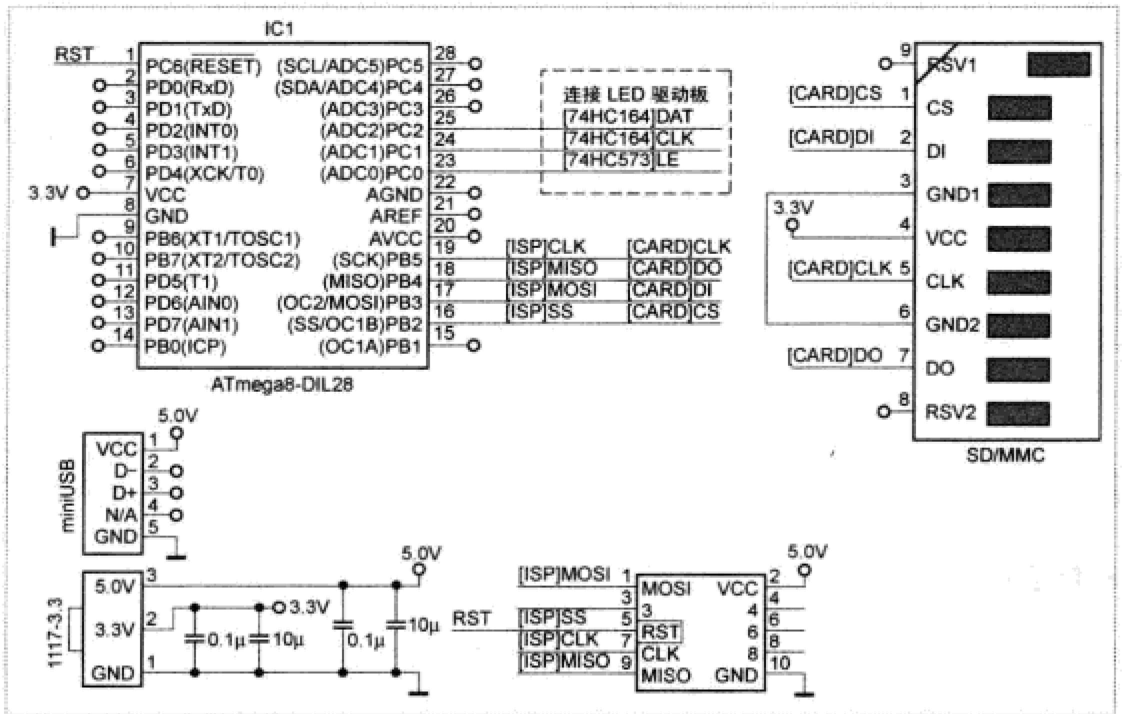


图4 控制电路原理图

包板上。面包板共使了9条面包线，其中，面包板下面的2条面包线为电源线，为单片机提供3.3V的电源，面包板上方左边的3条面包线为LED点阵屏幕的控制线，用于控制LED的画面显示，面包板上方右边的4条面包线为SD卡的控制线，用于实现SD卡数据的读取，见题图。

驱动方法

虽然单片机只要3个I/O口就能驱动LED指示牌、传输数据，但也别忘了，LED指示牌还需要2条电源线用于供电。这样，屏幕一共需要5条线才能工作。那么，如何驱动它显示呢？指示牌常使用动态扫描的方法驱动显示，因此单片机要不停地给74HC164输入数据，使屏幕达到100Hz的刷屏速度（注意，这里指的是整幅画面的刷新速度），这才能让我们的肉眼看不出闪烁。

我们可以通过M8单片机的定时器设置好中断时间，中断程序里发送每行的显示内容，并导通相应行的电源。例如，第一行要显示内容，那么中断程序先发送第一行4个字节的32点信息，然后发送2字节（16位）大小的控制位。它能指定16行中的某一行导通电源，从原理图可以看出，为0的那行电源将会导通。具体的实现方法请参考本制作的源程序。

由于数字逻辑芯片的驱动电流较小，所以每个行、列的驱动引脚都增加了三极管来提升它的驱动能力。整个LED驱动板的电流方向为：电源VCC→单个行三极管→LED灯→多个列三极管→电源地，屏幕显示画面是一行一行地显示内容的。驱动板的两侧分别焊接了5个插针，用于对更多LED内容的支持。这5个插针对应文章开头所说的电源、地、数据、时钟、锁存。不过要注意了，行驱动板和列驱动板电路原理图还是有区别的。当要连接更多的LED点阵时，只需要焊接更多的列驱动板，再相应修改程序即可。

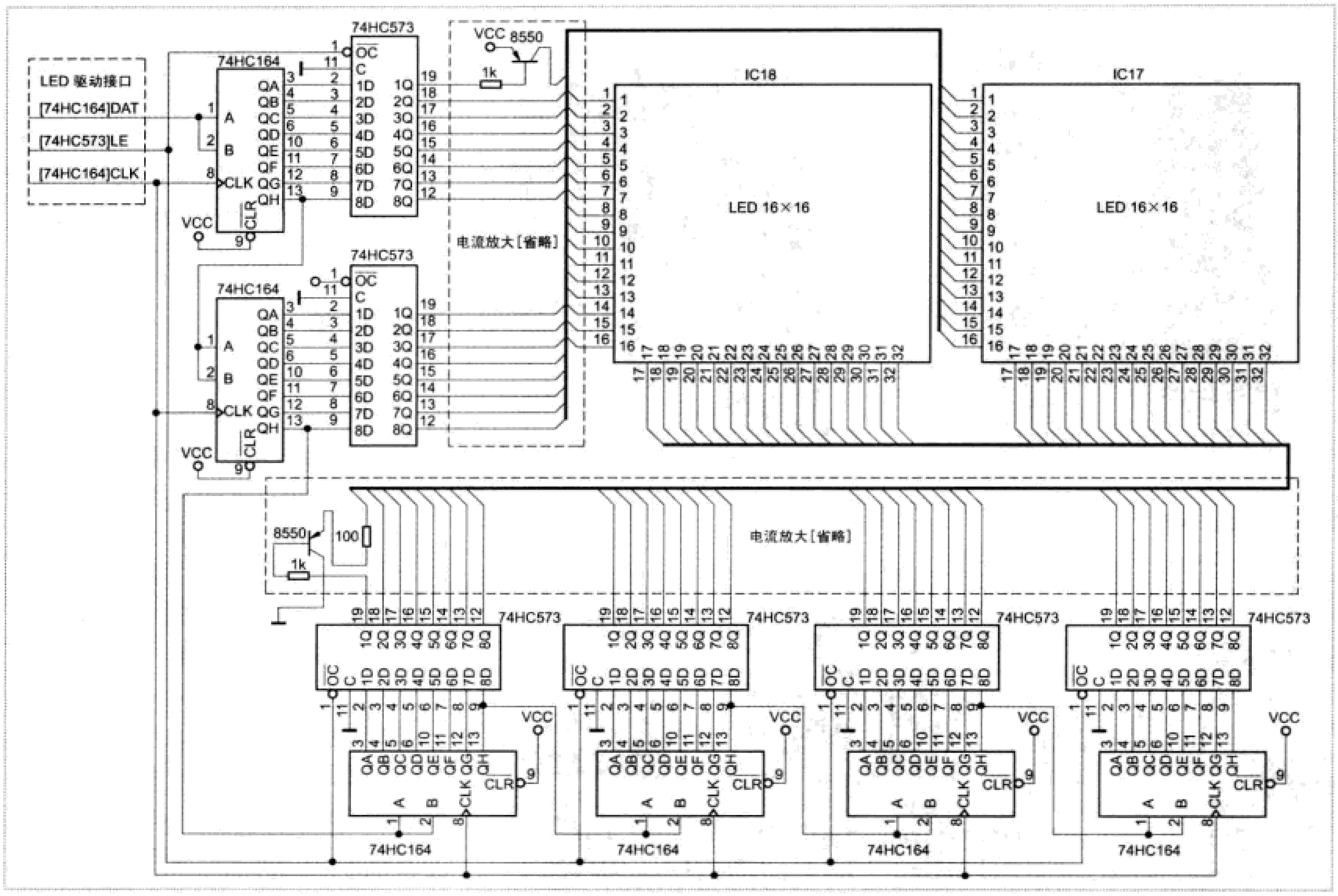


图5 驱动电路原理图

字库的制作及使用

本次制作汉字的显示还是使用了软字库的方法，即没有用专门的字库芯片来实现汉字的编码与解码。2010年第12期的《无线电》杂志《自定义提醒闹钟》一文也是采用的同样的方法。具体介绍可参考该期的杂志，本文不再赘述。

电路原理图

电路分为控制电路和驱动电路。控制电路使用AVR的M8单片机，使用SPI接口读取SD卡内的文本、字库数据，并通过单片机PC0~PC2引脚，把数据传输到驱动板。为了方便程序下载，可以焊接ISP下载口。控制电路的原理图如图4所示。

在驱动电路中，行驱动把LED点阵模块上的每个行都分别连接在一起，然后再通过8550三极管驱动，这是因为LED行需要很大的电流来支持高达32个LED同时亮起来。三极管的基极和74HC573锁存芯片的Q脚连接，通过74HC573的Q脚来控制三极管。最后将74HC164串转并芯片的Q脚和74HC573锁存芯片的D脚相连接，让74HC164来负责传送数据。至于列驱动，LED的每列也通过8550三极管驱动，这是为了增加每列LED的亮度。三极管再和每个74HC573锁存芯片的Q脚连接，也把74HC164串转并芯片的Q脚和74HC573锁存芯片的D脚相连接，原因和行驱动一致。驱动电路原理图见图5。

程序要点

首先确认SD卡格式化为FAT文件系统。程序读取SD卡内的TXT文件到FAT表的相应位置，并记录它的簇地址。接着查找中文字库在FAT表中的位置，也记录下它的簇地址。有了这两项文件地址后，就可以找到并读取TXT文件中2字节的汉字编码了。通过查找字库内相应点阵数据的偏移地址，程序就能读取相应的32字节的数据内容了，并把数据载入M8单片机的RAM中。最后，M8不断自动刷新屏幕，并滚动显示TXT内的内容（注意，由于时间精力关系，我在这个制作中没有编写相对应的英文字库，所以需要读者朋友自行添加英文字库，程序也要做相应的修改。当然变通的方法是直接使用汉字库中的英文字符和数字字符）。程序使用WINAVR-20050214编译。

本制作的程序和相关视频文件可以在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载，有什么不完善的地方，大家可以自行修改。

◎金宏伟

“积木法”搭建高频合成信号发生器（2）

上期，我们为这个高频合成信号发生器准备了3块“积木”，本期中，笔者继续为大家介绍后续的“积木”。

第四块“积木”——PLL 频率合成器

PLL（锁相环）频率合成器的实际组成有多种方式，工作原理也颇为复杂，并且在《无线电》杂志及诸多普及书刊中早有介绍，这里我们从实用角度出发，仅以DIY实践中最常用到的几种IC芯片为例来进行介绍。

1. 以MC145163为代表的系列型号

最简单易用的PLL频率合成器IC莫过于Motorola早期生产的以MC145163为代表的系列型号，这些芯片虽然年事已高，但仍可在市场上买到它的SOIC封装版本。它们的控制端采用并行输入方式，可以方便地使用拨码开关进行频率控制。MC145163的最高工作频率为30MHz（5V供电），当电源电压为9V时，最高工作频率可提高至80MHz。图1是它与本系列的MC1648构成的一个完整的数控高频信号发生器的电路图。

MC145163可以直接使用常见的BCD编码开关来控制，图中，RA0、RA1引脚设置为1024分频，晶体振荡器使用10.24MHz晶体，所以PLL的内部比较频率为10kHz。按图1中的编码设置，在振荡电感L取值合适的情况下，PLL会将VCO的输出锁定

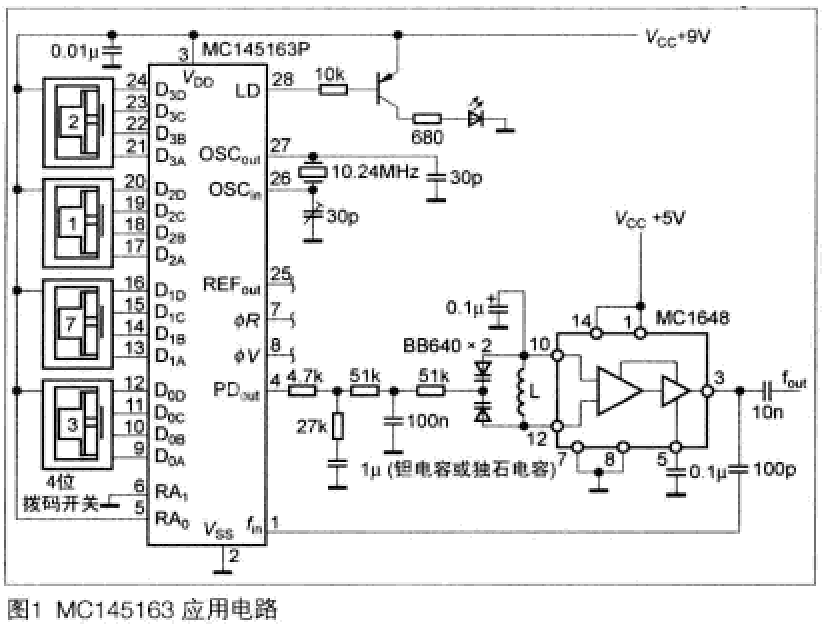


图1 MC145163 应用电路

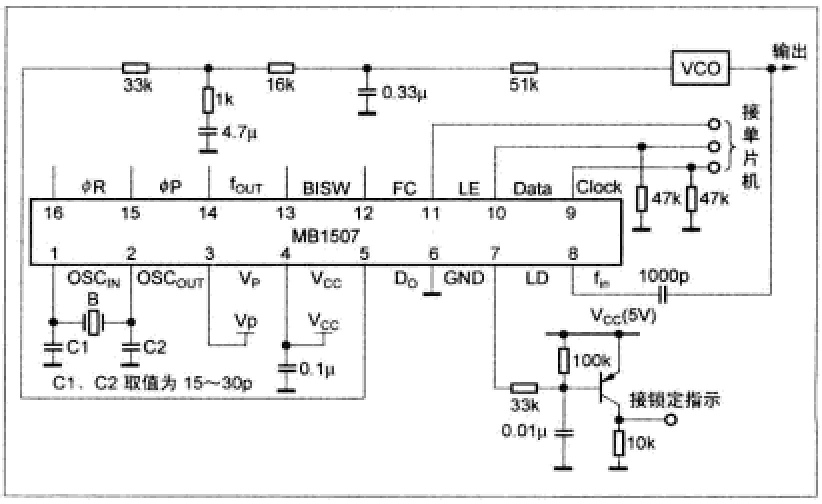


图2 MB1507应用电路

在21.73MHz。电感L的值应按输出频率的要求进行选择，使用MC1648配合变容二极管BB640，可以实现一个倍频程以上的大跨度频率输出。如想实现更大的频率跨度，可以用多个继电器对L进行切换，再用一片BCD译码器CD4028，将其4个输入端顺次并接在MC145163 的21～24脚，输出端则通过二极管组成的或门来控制继电器的开合，这样就可以实现频段随编码开关的设定自动地进行切换。

MC145163的28脚为LD，用来连接锁定指示灯，这里的接法设计成锁定时灯灭，失锁时灯闪亮，与大多数设计有所不同。这样的设计可以更清晰地观察到PLL失锁，有利于对电路工作状况的判断。

2. 串行输入型的PLL芯片

在不使用单片机的电路设计中，MC145163无疑是个非常好的选择。但并行输入的PLL受限于自身的引脚数量，无法实现更高精度的频率控制，在与单片机连接时，则会占用大量宝贵的接口。所以，现在市面上常见的性能更高、更强的PLL芯片都是串行输入型，比如富士通的MB1504、MB1507、ADI的ADF4113、ADF4116等，它们的最高工作频率都在1GHz 以上，频率控制字的长度多达20位，甚至更高。其中，最为廉价者莫

过于MB1507，其封装为16脚扁平贴片式，脚间距为相对宽松的1.27mm，不论是无PCB的“死虫”焊接，还是手刻覆铜板，都比较容易，基本的应用电路如图2所示。

图2中，Vp最高可接8V电源，但直接连5Vcc也是可以的。4.7μF的电容仍然需要使用钽电容，它及其临近的几个阻容元件构成了PLL的LPF，在PLL内部比较频率为1kHz左右时，它们的取值是适当的。下面是在CodeVision AVR编译器中用于ATmega系列单片机驱动MB1507的C程序代码：

程序

```
#define PLL_LE PORTC.2 // 定义引脚接线
#define PLL_CLK PORTC.1
#define PLL_DB PORTC.0
#define uint unsigned int
#define uchar unsigned char
#define ulong unsigned long
uint PLL_KeyN, PLL_KeyA, PLL_KeyM = 128, PLL_KeyR = 5120;
void PLL_Init() // 初始化MB1507
{
PLL_LE = 0;
PLL_CLK = 0;
PLL_DB = 0;
}
void _PLL_Set_REF()
{
uchar i;
uint t, temp;
t = 0x2000;
temp = PLL_KeyR;
PLL_DB = 1;
PLL_CLK = 1;
PLL_CLK = 0;
for (i = 0; i < 14; i++)
{
if (temp & t) PLL_DB = 1;
else PLL_DB = 0;
PLL_CLK = 1;
PLL_CLK = 0;
t = t >> 1;
}
PLL_DB = 1;
PLL_CLK = 1;
PLL_CLK = 0;
PLL_LE = 1;
PLL_LE = 0;
}
void _PLL_Set_CON()
{
uchar i;
uint t, temp;
t = 0x0400;
temp = PLL_KeyN;
for (i = 0; i < 11; i++)
{
if (temp & t) PLL_DB = 1;
else PLL_DB = 0;
PLL_CLK = 1;
PLL_CLK = 0;
t = t >> 1;
}
t = 0x0080;
temp = PLL_KeyA;
for (i = 0; i < 8; i++)
{
if (temp & t) PLL_DB = 1;
else PLL_DB = 0;
PLL_CLK = 1;
PLL_CLK = 0;
t = t >> 1;
}
PLL_DB = 0;
PLL_CLK = 1;
PLL_CLK = 0;
PLL_LE = 1;
PLL_LE = 0;
}
void PLL_Set_Freq(ulong freq) // 设定输出频率，单位为1kHz
{
PLL_KeyN = freq / 256;
PLL_KeyA = (freq / 2) % 128;
_PLL_Set_REF();
_PLL_Set_CON();
}
```

此程序适用于晶体频率10.24MHz，R分频器（PLL_KeyR）设置为5120，PLL的内部比较频率为晶体的频率除以R分频器的分频比，此时为2kHz，即PLL能以2kHz的步进控制VCO，实现最高512MHz的输出。读者可修改程序，使其适应其他频率，但需注意的是，MB1507不允许PLL_KeyN小于PLL_KeyA。PLL芯片的输出控制电压的范围——即VCO的调谐电压，一般为0～*Vcc*（对MB1507来说是0～*Vp*），若想获得更大的调谐范围，可插入同相比例放大器，如图3所示。

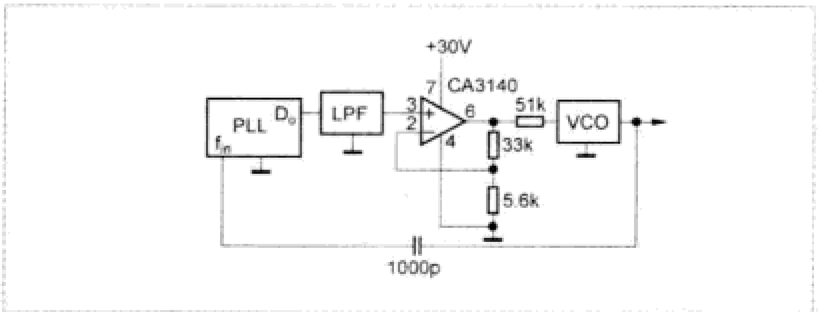


图3 提高PLL输出电压范围的方法

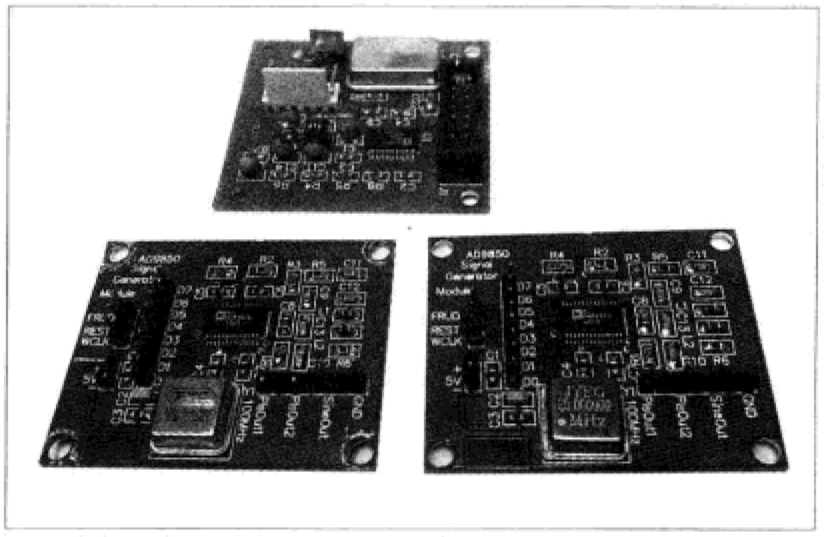


图4 几款网上购得的AD9850、AD9851模块

PLL+VCO电路在调试时，应先单独调整VCO电路，使其输出频率在输入电压的合理控制下，然后再接上PLL部分。在设定值正确时，如锁定指示灯快速闪烁几下就熄灭的话，表示大功告成，如指示灯持续闪烁或长亮，则表示PLL失锁。电路若连接无误，则是PLL输出所接的LPF取值问题，适当地对元件参数进行调整即可让PLL+VCO实现锁定。

第五块“积木”——DDS 频率合成器

DDS是一种全数字化的频率合成技术，一片DDS芯片，加上输出的LPF，再配合单片机系统，就足以构成一个完整的大跨度的中高频信号源。比如，常见的AD9851，在30MHz时钟六倍频的情况下，可以以小于1Hz的步进完美地输出几十kHz到60MHz的高频信号。但出于DDS技术本身的限制，其输出的最高频率有限。

以市场上能够相对容易买到的最高档的DDS芯片AD9858为例，它在超频使用1.2GHz时钟时，最高输出频率也只能勉强达到500MHz，远低于PLL+VCO的组合。但AD9858芯片价格在200～300元，稳态功耗达2W，在实际的电路设计中，常常需要专门的降压开关电源为其单独供电，其所需的1GHz的时钟也要由一个PLL+VCO的组合才能实现。所以，在多数的DIY实践中，DDS的运用仍以输出频率在100MHz以下的AD9850、AD9851等中低端芯片为主。

因为DDS的高度集成化、规格化，它在实际的运用中，很大程度上只是自己选择一下合适的芯片而已。网店里有很多现成的AD9850和AD9851的模块销售，价格也较为公道，直接就是一块真正的“积木”了（图4为笔者在网上购得的几款DDS模块）。这些模块已含配套的LPF，免了很多自己制作的麻烦，但为了通用，它们的接口都设计为并行方式。在实际使用中，如没有特殊要求，为减少单片机接口的占用，一般都把DDS的驱动设计为串行方式，这需要将DDS模块上的D0、D1脚经一个10kΩ电阻接至高电平，D2接地，数据接口只有D7与单片机连接，其他RESET、W_CLK、FQ_UD照常。

以下是在CodeVision AVR编译器中用于ATmega系列单片机串行驱动AD9851的C程序代码（在使用30MHz时钟时有效）：

程序

```
#define DDS_DATA PORTA.1 // 定义引脚接线
#define DDS_WCLK PORTB.1
#define DDS_RESET PORTB.0
#define DDS_FQUN PORTA.2
void DDS_Init(); // 初始化AD9851
void DDS_Set_Freq(unsigned long Freq); // 设置AD9851 的输出频率，单位Hz
void DDS_Init()
{
DDS_RESET = 1;
delay_ms(100);
DDS_RESET = 0;
DDS_WCLK = 0;
DDS_FQUN = 0;
DDS_WCLK = 1;
DDS_WCLK = 0;
DDS_FQUN = 1;
DDS_FQUN = 0;
}
void _DDS_Write(unsigned long ConWord)
{
unsigned char i;
DDS_FQUN = 0;
DDS_WCLK = 0;
for (i = 0; i < 40; i ++)
{
DDS_WCLK = 0;
if ((ConWord & 0x00000001)||(i == 32)) // 如用于AD9850，需去掉“|| (i ==32)”
DDS_DATA = 1;
else DDS_DATA = 0;
```

```
DDS_WCLK = 1;
ConWord = ConWord >> 1;
}
DDS_FQUN = 1;
DDS_WCLK = 0;
DDS_FQUN = 0;
}
void DDS_Set_Freq(unsigned long Freq)
{
unsigned long dds;
double c1,c2;
DDS_WCLK = 0;
DDS_FQUN = 0;
c1 = Freq * 23;
c2 = Freq * 0.860929422 + 0.5; // 如用于其他时钟频率应适当修
改此参数
dds = (unsigned long)(c1 + c2);
_DDS_Write(dds);
}
```

第六块“积木”——宽带放大器及ALC

即使是一台DIY的高频信号发生器，它的输出电平起码也应该在0dBm以上（一般的商品高频信号源的最大输出为+13dBm），并且应该做到不同频率时的输出幅度大体上一致。可惜的是，几乎没有一个宽带VCO或者DDS的输出幅度能够做到足够大（甚至都很难达到－5dBm），幅度-频率特性也无法做到足够的平坦（基本上都是低频输出幅度大，高频幅度小）。这第六块“积木”——宽带放大器可以解决输出电平不足的问题，而ALC（自动电平控制电路）则可以使输出的幅度-频率特性变得平坦稳定。

我们先从一个图5所示的简单宽带放大器说起。虽然图5中的两级电路的发射极都带有具频率补偿作用的阻容元件，但它基本上还算两级三极管共射极放大电路。为保证良好的频率特性，在两级放大电路中间还插入了一个500MHz的LPF。图5中的三端稳压器AME1117并非画蛇添足，它的存在可以很好地隔离前后两级电路，有效地提高系统的工作稳定性。次级放大电路采用较高的电源电压，对提高输出的线性度和幅度都大有裨益。

这个完全由分立元件构成的电路，虽然从实际的频率特性上来说，还算不上一个真正的宽带放大器，但在实际使用中表现还可以，工作频段内的最大增益可达30dB，最低时也有15dB，最大输出电平可达+13dBm。如果再经过仔细地调整频率补偿元件和增加负反馈环节，可以使这个电路的幅频特性更加均匀，但在

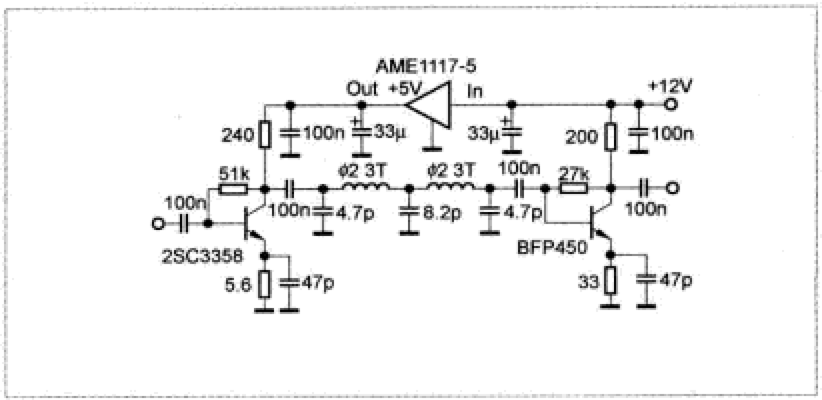


图5 1～500MHz 宽带放大电路

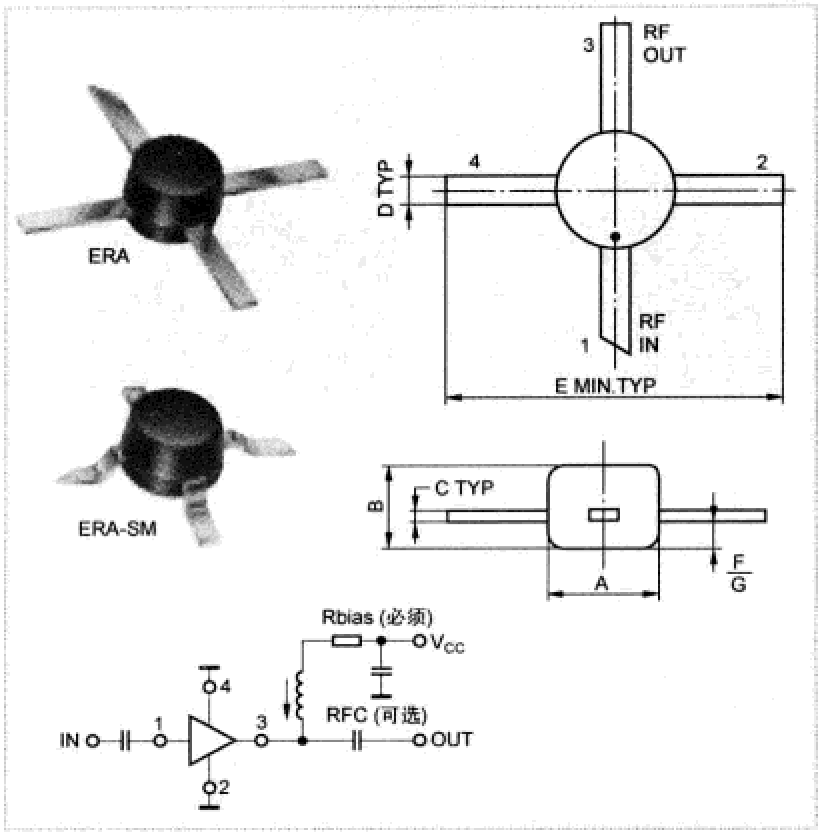


图6 ERA系列MMIC的外观及偏置电路

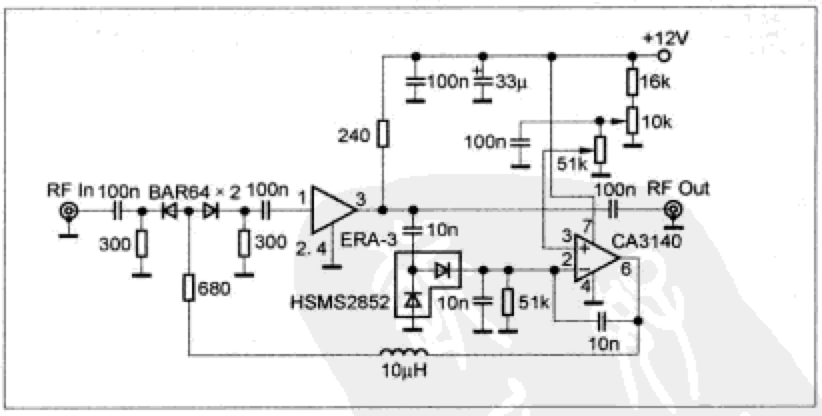


图7 1～3000MHz的带ALC的宽带放大电路

业余条件下来做这样的调整实在是勉为其难，况且我们还有更好的方案来解决这个问题。

MMIC（单片微波集成电路）的广泛运用使我们可以更加简单、方便地构造高频率的宽带放大电路。这里，我们再次提到著名的Mini-Circuits公司，它的ERA及MAR系列MMIC以低廉的成本和

轻巧易用的封装提供了0～8GHz的带宽、10～30dB的增益及最高近20dBm的输出，在实际的电路应用中，几乎一片ERA-3就可以抵得上图5的整个电路。它们的外观及偏置电路如图6所示。

事实上，光有频率特性均匀的宽带放大电路，仍然无法解决高频信号发生器输出幅频特性平坦的要求，因为来自源（如VCO或DDS）的信号本身就是不均匀的。ALC电路则是最基本和常用的保持高频信号发生器系统输出幅度稳定的方法。

ALC电路是一个负反馈环，宽带放大器的部分输出经检波器转化为与射频信号幅度成正比的直流电压，该电压与预设的参考电压相比较，经积分放大后再来控制宽带放大器前端的电调衰减器的衰减量，驱使检波器的直流输出与参考电压相位一致，从而对输出信号的幅度进行精确地调整。改变ALC中的参考电压，即可方便地改变输出信号的幅度。图7即是一个完整的带ALC的宽带放大电路。

图中的10kΩ可调电阻用于设定ALC参考电压的最大值，一旦设定即不再调整。51kΩ的电位器用于输出幅度调节。性能优越的HSMS2852组成倍压检波器，CA3140运放构成高增益的积分放大器，它的输出直接控制由一对PIN二极管（BAR64）组成的电调衰减器，从而构成完整的ALC环路。但受制于HSMS2852的特性，这个电路的最大输出不宜超过+5dBm。如想更充分地利用ERA-3的输出能力，应将HSMS2852换成反向耐压更高些的肖特基二极管，如1SS86等，但这样的话，整个电路的工作频率上限也将受限于1SS86 的频率特性，很难用于1GHz以上的频率了。（未完待续）

PIN二极管简述

PIN二极管是射频电路中的一类重要元件，它与一般的由PN结构成的二极管的不同之处在于：PIN二极管在PN结之间还有一个未掺杂的本征半导体层—— I层。从半导体物理的原理面来理解PIN二极管的特性，对无线电技术来说，应该没有什么必要，我们只需了解当PIN二极管通过正向的直流电流时，它对射频信号的电阻会随直流电流的增大而减小，而当直流电流减小至零时，它的射频电阻则将趋于极大。PIN二极管因其多了一个本征的I层，所以它的结电容也非常小，通常都在1pF以下。

PIN二极管还有个参数，称作特征频率，对于大多数PIN二极管来说，这个值通常在1MHz左右。PIN二极管对在这个频率之上的射频信号表现为一个电阻，如果加在一个PIN二极管上面的交流信号的频率低于它的特征频率，它将表现得更像一个普通的整流二极管。

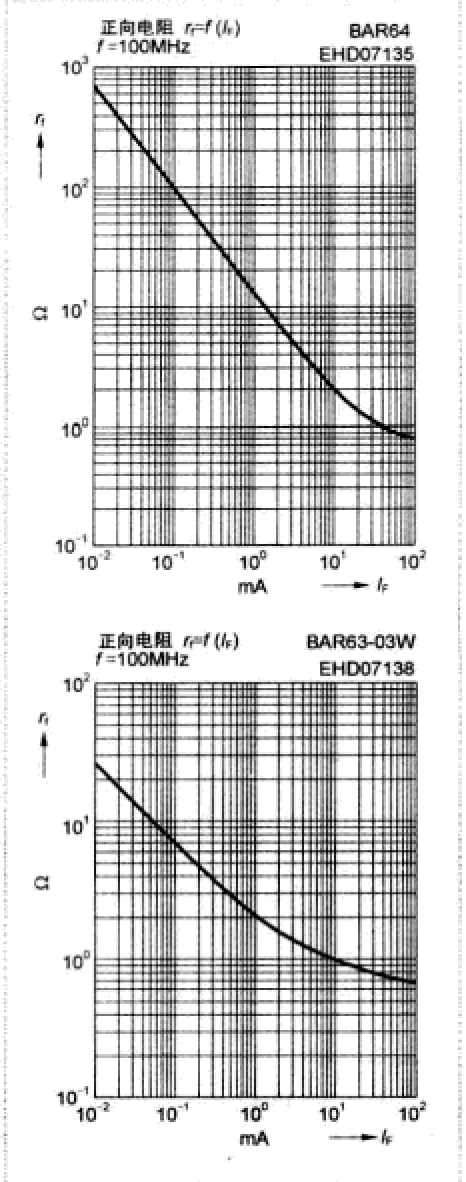
应用于射频系统的PIN二极管主要分为两类，一类是可变电阻式的，另一类是开关式的。实际上后者可以理解为前者的特例，即开关型的PIN二极管只需很小的正向直流电流控制，便可具备极小的射频电阻。BAR64和BAR63是市场上常见的两种PIN二极管的代表，它们的I_F-R_f特性曲线图表如图A所示。

由图A可见，开关型的BAR63在1mA的正向电流下的射频电阻仅2Ω，而BAR64的射频电阻随正向电流在很宽的范围内变化，是个理想的射频可变电阻。

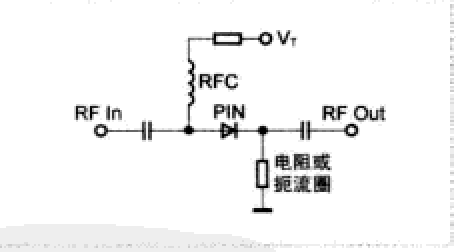
图B中给出的是PIN二极管的基本应用电路。图B中，当控制电压V_T使PIN二极管导通时，射频信号通道呈低阻抗状态，而V_T为零或负时，二极管截止，呈现高阻抗，实现了射频开关（或者可变电阻）的功能。而实际设计的PIN二极管开关或衰减器，不会像图B一样只使用一个元件来实现。使用更多的PIN二极管可以使开关电路实现更高的隔离度，或者让衰减器达到更宽的调节范围。

在小信号状态下，普通的高频开关二极管（比如最普通的1N4148）也可以代替PIN管实现射频开关的功能，但PIN二极管不论用做开关还是衰减器，都可以用不很大的直流电流去控制非常强的射频信号（只要不超过PIN管功耗的极限），独特的内部结构可以确保它对射频信号始终表现为一个线性的电阻元件，而高频开关管则只能对峰值低于它的导通阈值的射频信号实现开关控制。

PIN二极管是射频电路中经常要用到的元件，但它的价格远高于普通的二极管，而且还很难买到。实际上，对于50MHz以下的应用，很多高反压的低频小电流整流管是很好的开关型PIN二极管代用品。因为这些高反压管本身就是PIN结构的，只是结电容稍大一些，比如1N4007的结电容大约10pF，多数微玻璃封装（DO-35）的高反压管结电容则在5pF以下，用在低于50MHz 的频率下毫无问题。



图A PIN二极管的特性曲线



图B PIN二极管的基础应用电路

为函数信号发生器扩展功能 上

◎林芝松

笔者购买了一台二手的GFG—813函数信号发生器，见图1。该信号发生器内设主信号和调制信号两部函数信号产生器、6位数字频率计数器，是一台多功能仪器。它是20世纪90年代的产品，函数信号是用运算放大器、普通的TTL、CMOS集成电路以及三极管、二极管等分立元件构成的模拟电路产生和放大的。经一段时间的使用，笔者增加了一些电路，扩展了这台函数信号发生器的功能，使用起来更加得心应手了。

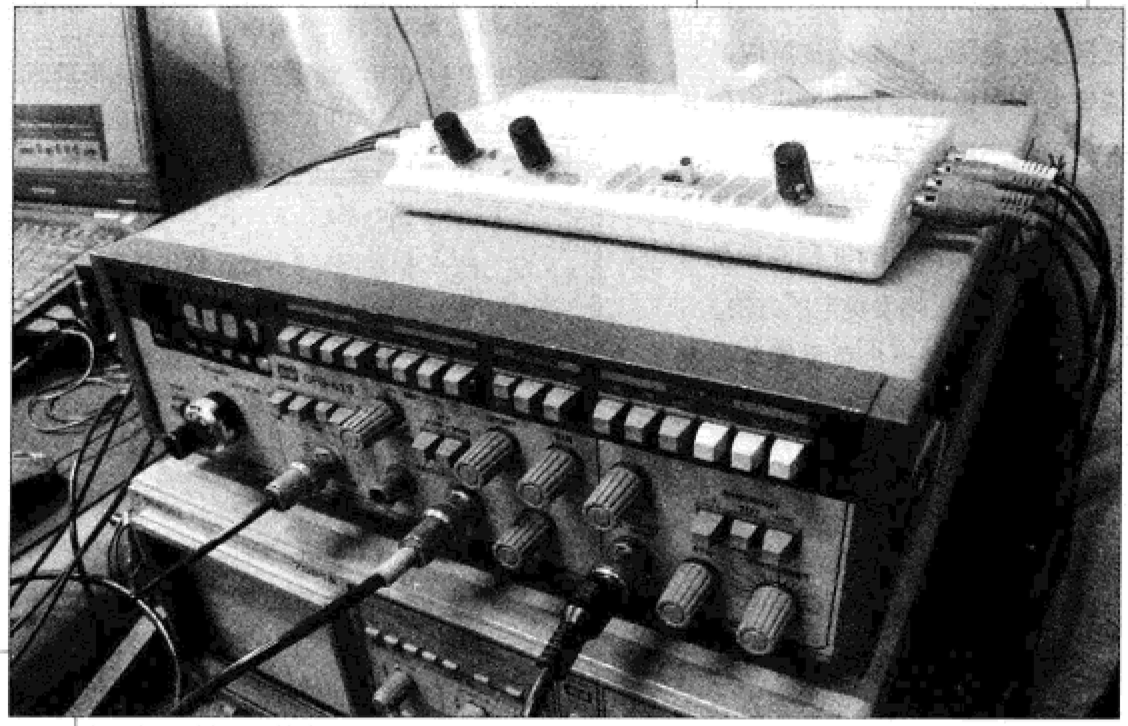


图1 GFG－813函数信号发生器

改进一 更换主信号频率调节电位器

本仪器用于调节主信号频率的电位器采用的是普通10kΩ碳膜电位器，缺点是对于高频率的调节很困难。有时想调定一个频率点，如1.000MHz，根本办不到，频率漂移严重，稳定性差。笔者用10kΩ的10圈精密线绕电位器替换了原电位器，此弊病就迎刃而解了，再配上带10圈刻度盘的旋钮就更好了，见图2。

原仪器所配电位器的旋钮刻度盘虽然有指示信号频率的作用，但是精度很有限，好在仪器内设有6位频率计，调节点频率的时候，可以用来监测频率值。换上带有10圈刻度盘的旋钮，此刻度盘能指示频率的大概数值，精度比原电位器的旋钮刻度盘提高了许多。

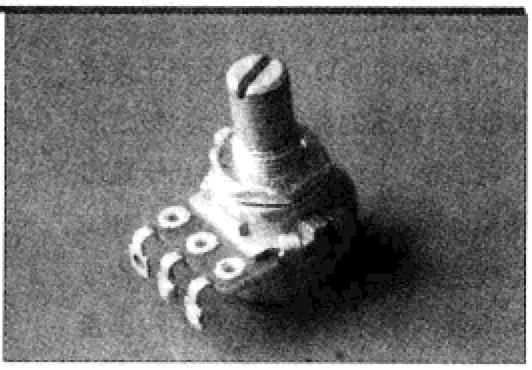


图2(a) 仪器原配电位器

图2(b) 可供选择的多圈精密线绕电位器和带10圈刻度盘的旋钮

TIPS

1. 更换电位器时，有时需对原安装孔进行扩孔，操作时要很细心，避免弄破频率计显示屏面板的薄膜，笔者已吃过亏了，后来加贴了一片红膜。

2. 认真清除金属等细屑。

3. 原电位器是用2根导线焊接的，调节时是往反时针方向旋转频率增大，不符合使用习惯和10圈旋钮度盘刻度值，所以在焊接时，应使旋钮往顺时针方向旋转频率增大。

改进二 增加对数扫描功能

仪器原用于扫描的锯齿波只是线性的，具有线性扫描与对称性调节，无对数扫描功能。测试音箱分频器的频率特性、滤波网络的调试、放大器的频率响应等都要应用对数扫描。同时，为了避免压缩显示图形的X频率轴，并且使显示图形的频率方式与通常用于描绘音频设备幅频响应特性的普通三联十进图纸相符，增加对数扫描很有必要。

笔者解剖了整台仪器，并进行了一些测试，测得了仪器输出的扫描用的锯齿波是个负极性的锯齿波，幅度为-4～0V，波形如图3所示。此锯齿波由电路板2的J202插口输送到电路板1的J202插口，对主信号进行调制，从而形成扫频波。调制用的锯齿波的幅度大小由“MOD”电位器控制，而由“MOD”端口输出的幅值不受电位器控制的锯齿波作为示波器的X轴扫描电压。锯齿波的有无则由“SWP”按键开关控制，如图4所示。

由于是负极性的线性锯齿波，不能用诸如LOG100系列、MAX4206、AD8307等专用的对数放大集成电路来变换，而且笔者曾在《无线电》2009年第9期《自己动手制作测试仪器》一文中所采用的转换电路也不适用。虽然有一款对数放大器4127刚好能应用于负极性电压的转换，其应用电路如图5所示，无奈的是，此集成电路价格不菲。于是，笔者根据4127内部结构框图，用普通易得的元器件组装了功能类似的转换电路，如图6所示，造价低廉，效果也极佳。

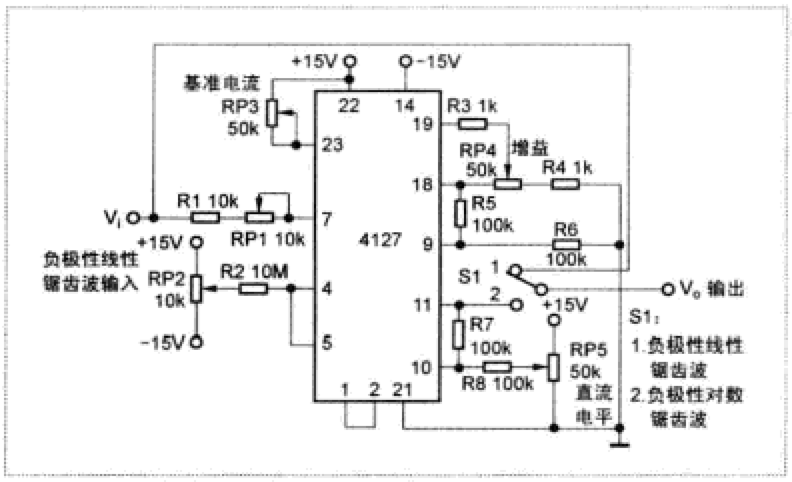


图5 使用4127组装的对数转换电路

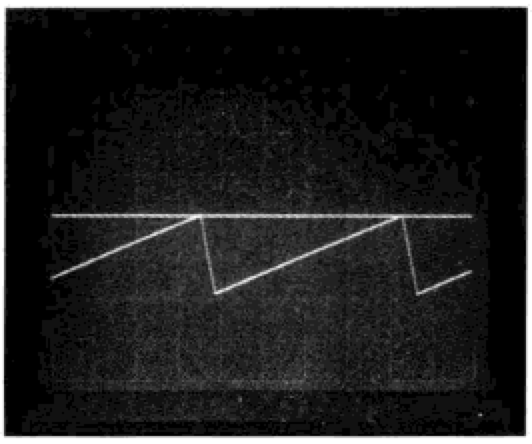


图3 仪器输出的负极性线性锯齿波（双踪显示，其中一踪当作零电平X轴基线）

1. 电路构成

图6中的VT1～VT5采用晶体管阵列集成电路CA3046（IC3）或CA3086等皆可。VT6、VT7两只三极管要配对，误差控制在1%以下，同时采用如图7所示的方式安装，它们要紧贴在CA3046上，接触面涂有导热硅脂，以使它们的温度与CA3046一致。这类的直流对数放大器（严格说应该称为对数变换器），受温度变化的影响较大，故笔者采用了简单实用的恒温处理方式。IC1d、IC1a、VT3～VT5、VD2和RP6等组成恒温控制电

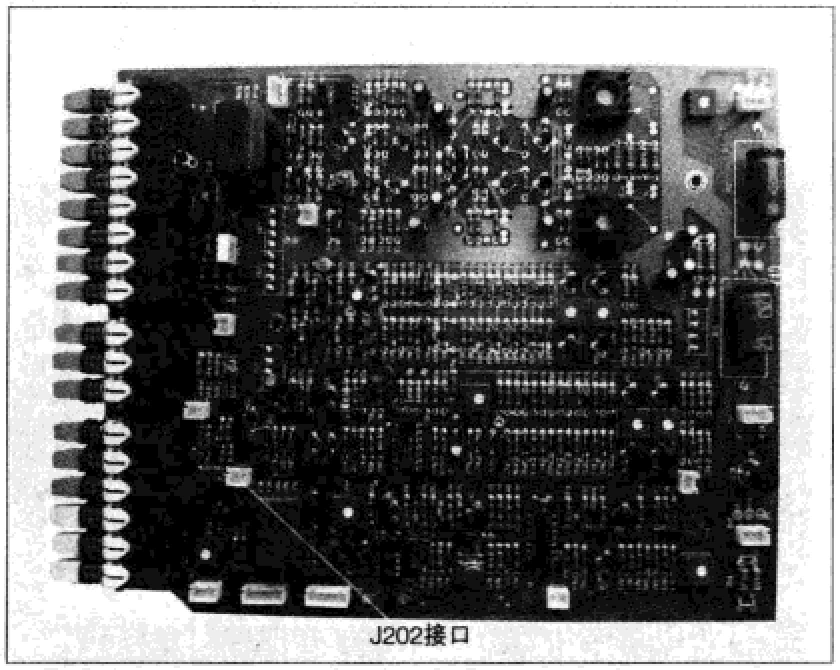


图4(a) 电路板1

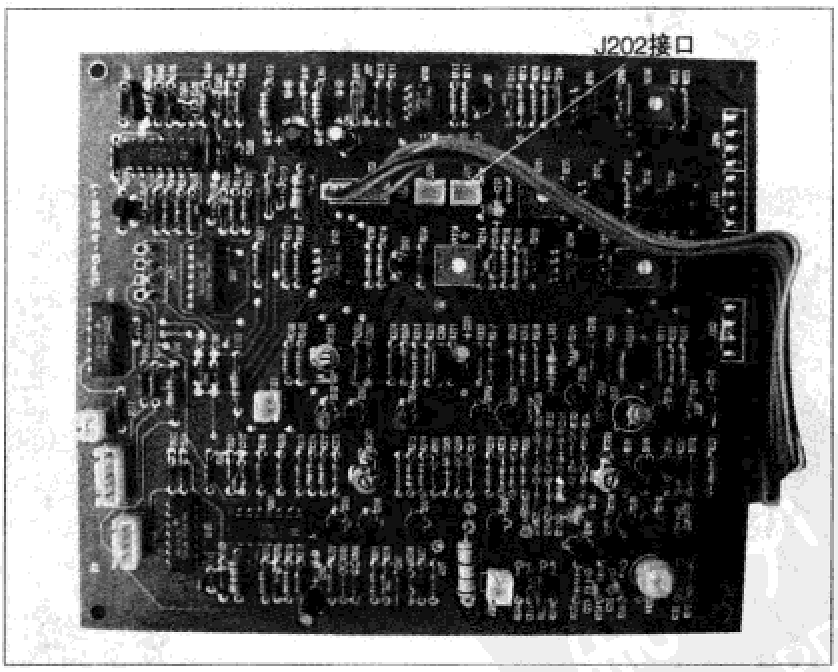


图4(b) 电路板2

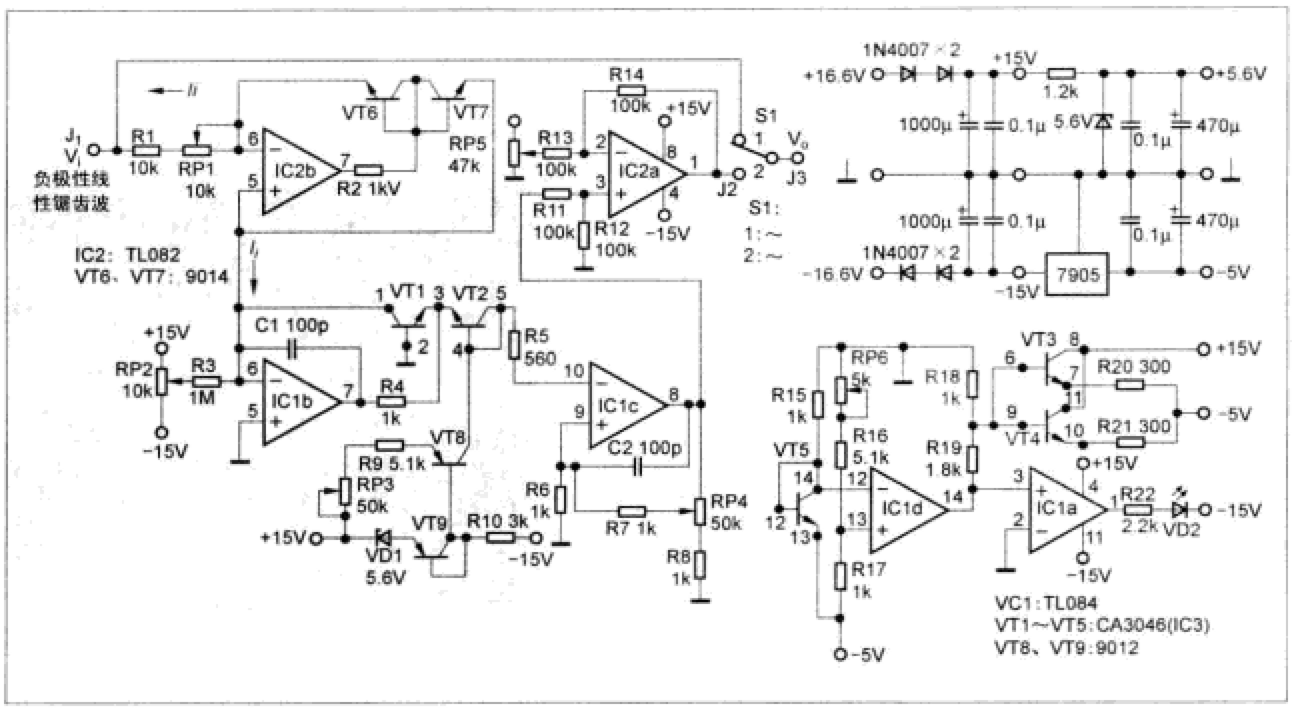


图6 可以替代图5的对数转换电路图

路，VT5被接成二极管形式，作为温度探头，IC1d担任比较器，VT3和VT4被当作发热元件。经恒温处理后可将温度的影响降至可接受的程度。

IC2b与VT6、VT7等构成了电流反相器，VT8、VT9、VD1和RP3等构成电流基准，IC1b、VT1和VT2等构成对数变换电路，IC1c和RP4等构成同相放大电路，IC1c的8脚输出的对数锯齿波幅度大小由RP4调节。IC2a和RP5等构成锯齿波极性转换电路。经以上电路的协同作用，将J1端口输入的线性锯齿波转换成符合GFG—813主信号调制的负极性对数锯齿波。

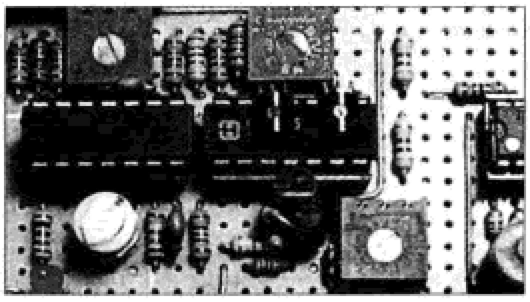


图7 VT6、VT7的安装方式

笔者组装出来的这个电路板的耗电量很小，而GFG—813的电源余量较大，所以组装的电路板的电源由GFG—813中引出。笔者测量了原机器上的±15V电源，结果显示的数值为±16.6V，如果直接用于组装的电路板显得高一点，所以正负电源各经2只1N4007二极管串联降压后才使用。+5.6V电源供给后面要介绍的频标电路使用。

2. 组装方法

笔者利用万能板（洞洞板）来安装，见图8、图9。对于低频电路，只要精心布局，合理安排元器件，洞洞板同样也能组装出优质的电路。在洞洞板上可立体搭焊，元器件的排布可以较为紧凑，连线就较短，所以电路板的尺寸也就可做得较小，当然这对于制作者的工艺要求和焊接功底却是一个考验。

组装时，除对VT6、VT7两只三极管的参数配对和按要求安装外，微调用的电位器应选用优质精密的多圈或玻璃釉的，电阻采用5色环的1/4W金属膜的。连线搭焊时要注意做好绝缘，防止短路，有必要时可用热熔胶进行隔离和封固。

3. 调试

如图10所示，用三根导线从GFG—813机内电路板2的J102接口引出±15V电源，分别焊至组装电路板相应的端口，并确认无误；“MOD”端口用屏蔽线连到组装的电路板的J1（输入）端口，双踪示波器的Y1也接到J1端口，检测波形。

接通GFG—813和示波器电源，首先调试恒温电路。调节RP6，使VD2刚刚被点亮，此时，VT3、VT4导通加热，过一会儿VD2熄灭，加热结束（VT3、VT4截

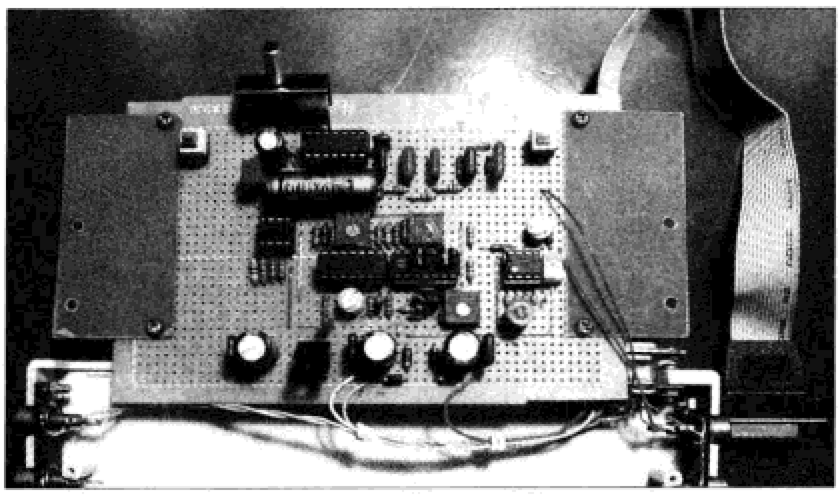


图8 组装的电路板的元件面

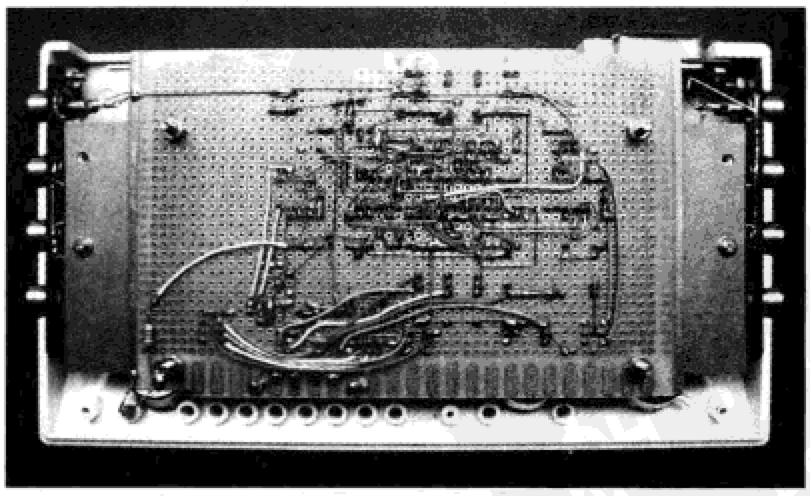


图9 电路板的焊接面

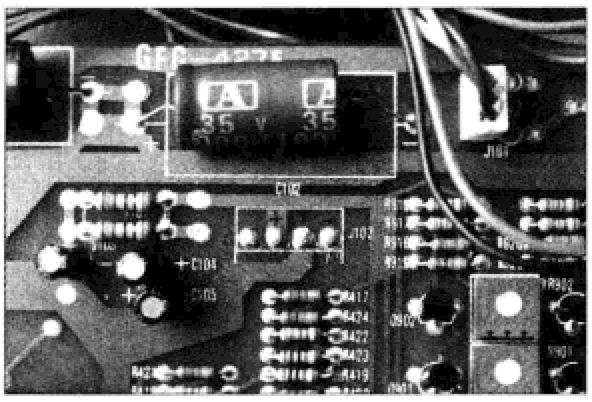


图10 电路板2的J102接口

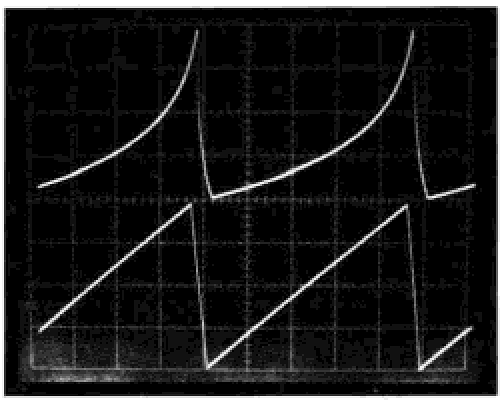


图11 双踪显示的线性锯齿波和对数锯齿波

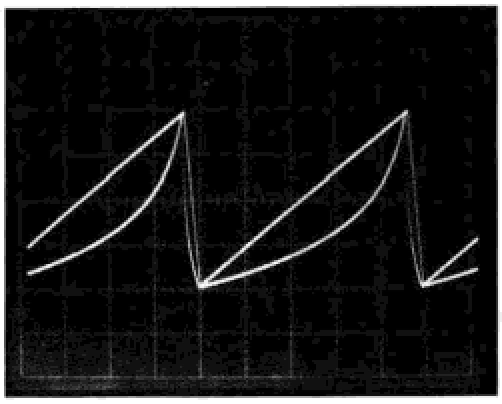


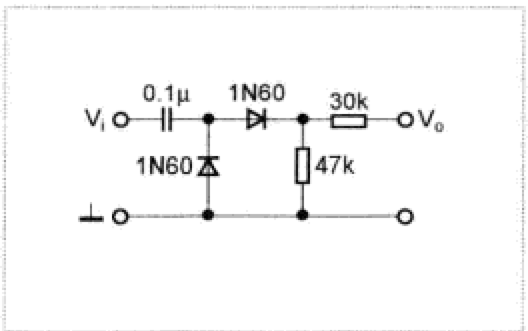
图12 线性锯齿波与对数锯齿波重叠显示

止），IC3（CA3046）有温热感，处于恒温状态，此温度设置为40℃左右最佳（由RP6调定）。当IC3温度稍有下降，VT3、VT4再度导通加热（VD2点亮），IC3温度上升至设置值（如40℃），加热结束（VD2熄灭），如是，可使IC3保持恒温状态。

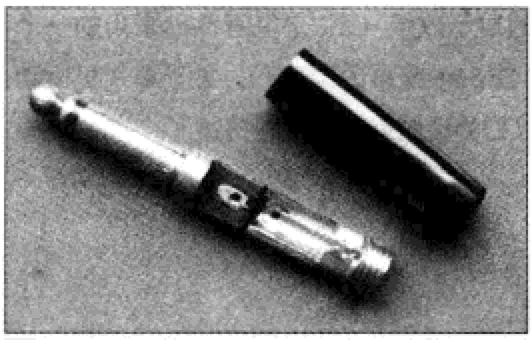
接着调整变换的对数锯齿波波形。在IC3进入恒温状态时（VD2熄灭），按进GFG—813调制信号部分的“SWP”和RANGE（Hz）的“100Hz”按键，调节示波器的有关旋钮和GFG—813调制信号部分的频率调节钮（FREQUENCY），在示波器屏幕上显示如图11下边所示的负极性线性锯齿波，把双踪示波器的Y2接到J2（输出）端口检测波形，反复调节RP1～RP5，使Y2显示如图11上边所示的波形。调节Y1和Y2的位移，显示重叠的波形如图12所示。调试时，Y1、Y2的衰减设置和增益调节应一致。J3端口输出的是经由S1选择的线性或对数的锯齿波，用于GFG—813的主信号调制，产生扫频信号。

当然，最理想和简便的方法莫过于采用4127专用集成电路。其内部采用温度补偿和设有精密的电流基准电路，可使温度和电源的影响降至最小，同时还多设置了一个运算放大器供扩展使用。

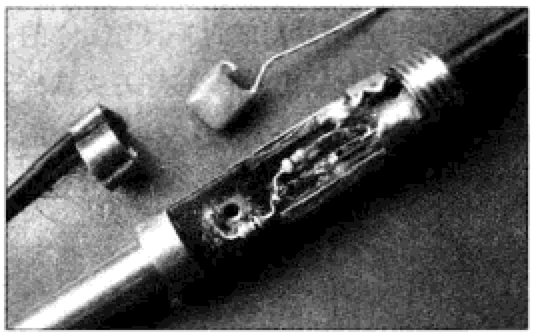
改进三 检波探头的制作



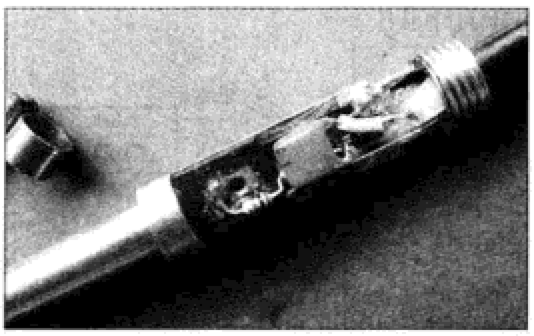
1 检波探头电路图



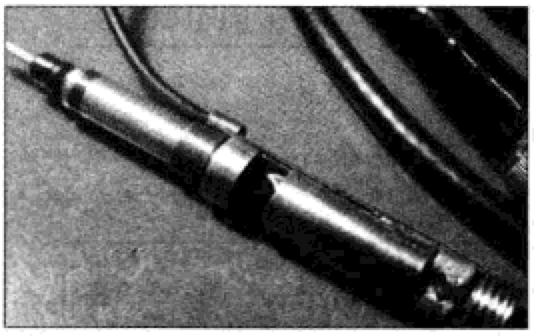
2 Φ6.3mm插头，制作时要锯去前端部的圆球，并钻一个深6mm、直径为2mm的孔。



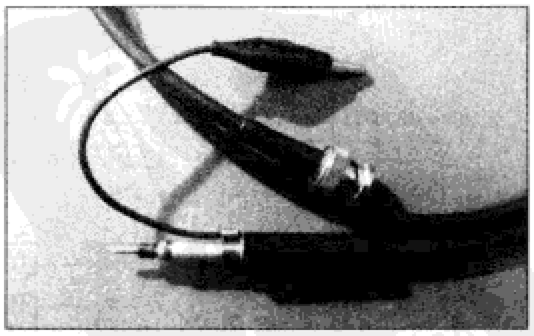
3 先将长1m、另一端焊有BNC公插头屏蔽线的屏蔽层焊接在插头尾部的铜外壳内壁上，并将芯线露出的铜线上锡，然后将两只检波管1N60，电阻51kΩ、47kΩ各1只直接搭焊。



4 将0.1μF/100V薄膜电容的一脚焊接在2只检波二极管的连接点，另一脚套上一小段绝缘管，并焊接到屏蔽线的芯线上，处理好绝缘，注意防止短路。



5 用薄铜皮制作一个屏蔽罩并焊上，用薄磷铜片卷绕一个圆筒夹子，并焊上一根另一头焊有鳄鱼夹的导线，它紧密地套在插头上，使其接触良好，同时还能绕轴转动，作为接地线；在Φ2mm的孔内插入一根探针，并用大功率烙铁快速焊接上。



6 制作完工的检波探头。

下期，我将为大家介绍频标电路的制作。

◎金宏伟

"积木法"搭建
高频合成信号发生器（3）

第七块"积木"——显示控制

所谓"合成"信号发生器，当然都是数字控制的，对于使用像MC145163 那样的并行输入芯片的合成信号源，除了可以用前两期文章中提到的拨码开关控制外，也可以采用7段LED数码管的方式（见图1）。

这个数码管的控制电路很简单，4位数码管、4片可预置BCD加减计数器74LS192，加上4片BCD译码驱动器74LS247，构成可逆且可预置的计数器，两个555定时器分别组成的3Hz和100Hz的多谐振荡器，其输出由4个按钮开关选择对应计数器的加、减计数输入，对预置的数值进行或快或慢的加减计数，从而实现对MC145163的控制。图2是这个数字控制器的电路简图。

但对于使用DDS或MB1507等串行输入PLL芯片的合成信号源来说，需要使用单片机进行频率控制，顺便还可以用单片机驱动五六位的数码管显示。当然，对于显示而言，更好的选择是使用LCD屏，1602字符型液晶屏是被最广泛采用的。要是能使用12864这样的图形点阵液晶屏，则可以提供更多的显示内容和更好的显示效果（图3是笔者自己采用的一个12864液晶屏的范例）。关于单片机驱动LCD的话题就不在这里赘述了。

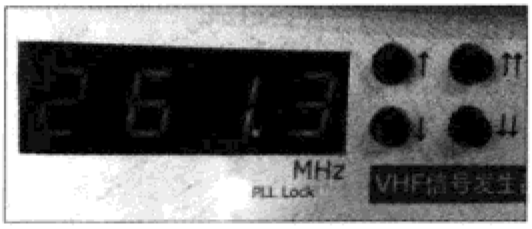


图1 4位LED显示的VHF 信号发生器面板

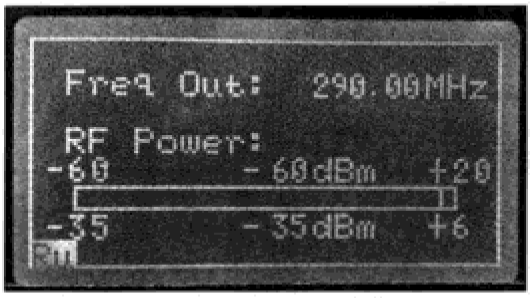


图3 使用12864液晶屏的信号发生器

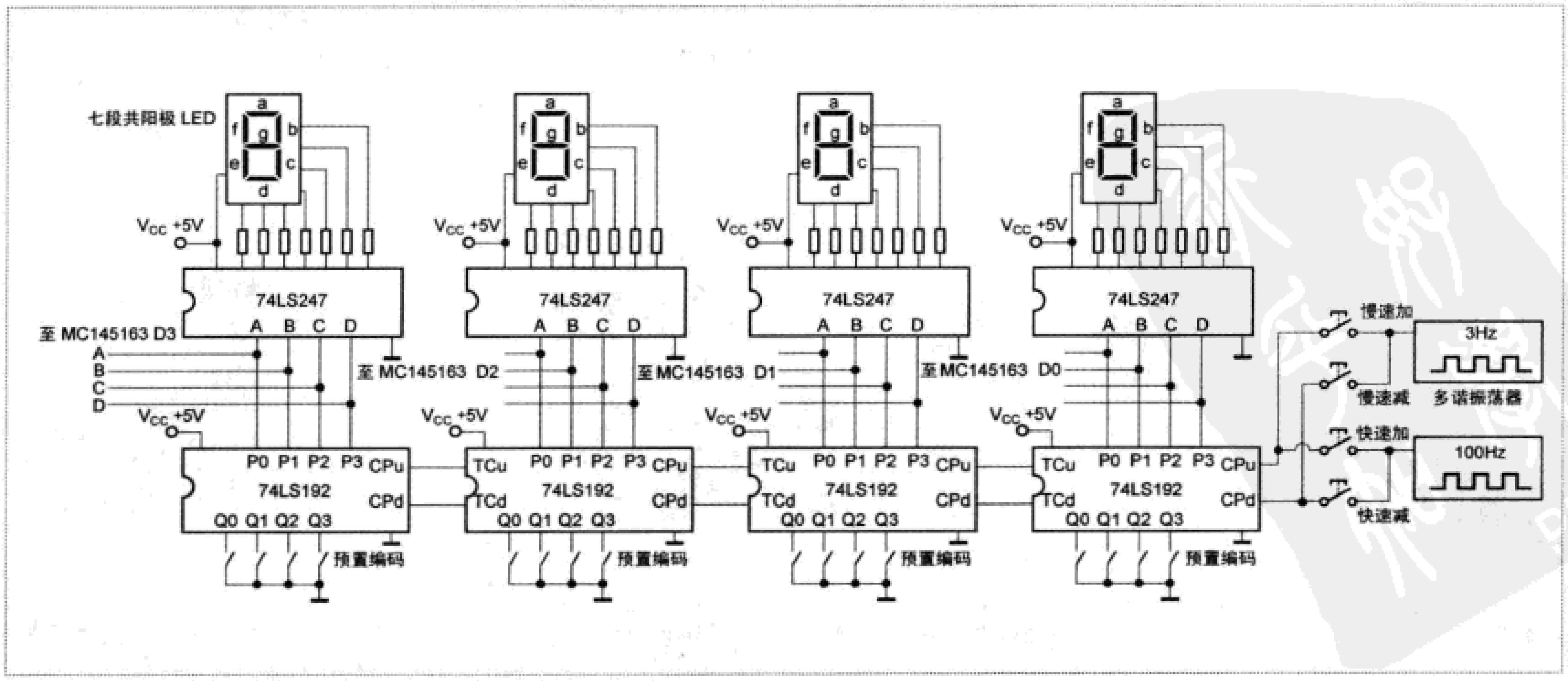


图2 4位LED 可预置加减计数器简图

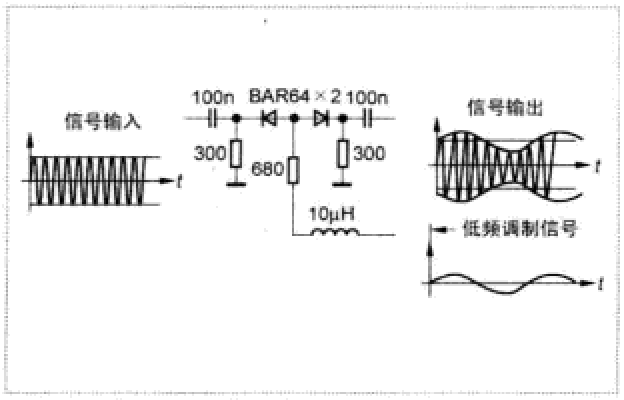


图4 PIN 二极管调幅电路

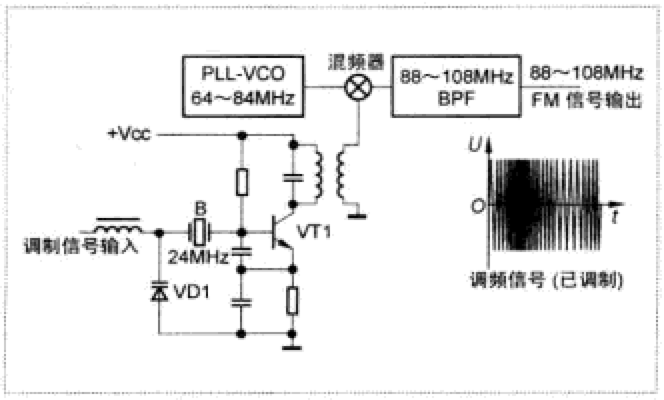


图5 调频电路示例

附表

衰减量/dB	R1/Ω	R2/Ω
1	5.77	870
2	11.6	436
3	17.6	292
4	23.5	221
5	30.4	178
6	37.4	150
7	44.8	231
8	52.8	116
9	61.6	105
10	71.2	96.3
20	248	62.1
30	790	53.3

第八块“积木”——信号调制

多数高频信号发生器都需要有信号调制电路，以产生调幅AM、调频FM或脉冲调制CW信号。对于AM、FM调制，调制信号源一般是1kHz 的正弦信号发生器，进行CW调制则需要一个1kHz的方波或脉冲信号源。调制信号源可以内置，也可外置，具体实现方法很简单，这里就不多讲了，以下只介绍调制电路的实现方法。

图4是一个简单却又非常好用的调幅电路，大家会觉得这个电路似曾相识，事实上，它就是前面讲到的ALC电路的前端部分（后面我们还会提到它，很万能的）。把它的低频调制信号换成幅度足够的方波或脉冲，就可以输出CW信号了。产生双边带DSB信号，需要使用前面提到过的二极管双平衡混频器，只要将低频信号从中间的#2端口输入即可。

在调幅电路之后，如果还有ALC电路的话，应该注意，ALC电路积分放大器的时间常数应在调制信号周期的10倍以上，否则调幅信号就会被ALC电路所“吞没”，但ALC的时间常数太大，又会造成对电平控制的迟钝。调频FM是使载波的频率依调制信号波幅变化而变化的调制方式。对VCO电路进行直接调频是很简单的，只要在变容管的调谐电压上再叠加上微幅的低频调制电压即可，但当VCO在PLL环路中时，PLL会像ALC“吞没”调幅信号一样去“吞没”调频信号，仍然会存在两者的时间常数竞争的问题。所以，对PLL-VCO 电路进行直接调频非常困难，图5的示例是一个很好的变通方式。

图5中，VT1 与VD1、晶振B组成一个精准稳定的24MHz振荡器，变容二极管VD1可以在调制信号的控制下对输出频率进行微调，这个电路称为“VCXO”——压控晶体振荡器。经调频后的VCXO信号与PLL-VCO的输出信号进行混频后即可生成所需的FM信号。

第九块“积木”——衰减器

几乎每一台高频信号发生器的最后把关者都是衰减器，它对信号源产生的高频信号进行分挡步进，或连续可调地衰减至适当的幅度，并最终输出。衰减器按照工作方式分为步进式和连续式两类，按控制方式则分为程控（电控）和手控两种。所有的步进式衰减器都是基于π形电阻网络（射频衰减器几乎没有用使用T形网络的）来实现的，具体见图6。

附表中的电阻值均为非标，实际制作中应采用多个电阻并联实现。一个完整的步进衰减器是由一串不同衰减量的电阻网络组成，用双刀双掷开关或继电器或PIN二极管进行切换组合，具体电路和外观见图7、图8。

这个衰减器根据不同开关组合可以产生0~57dB的衰减量，采用双面环氧覆

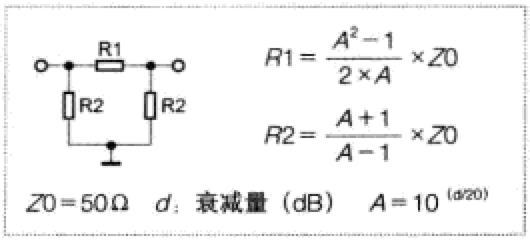


图6 π形电阻步进衰减器

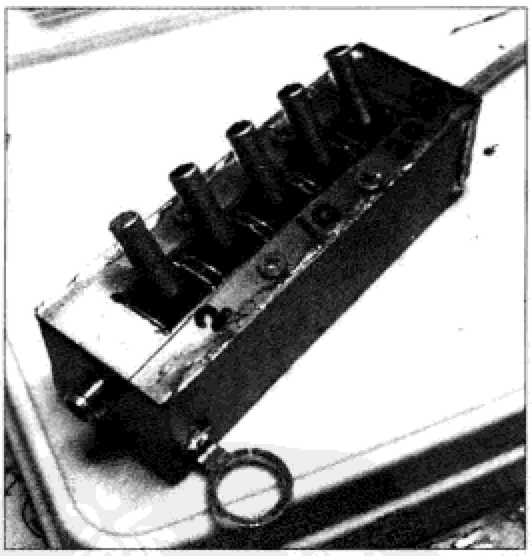


图8 笔者自制的一个步进衰减器

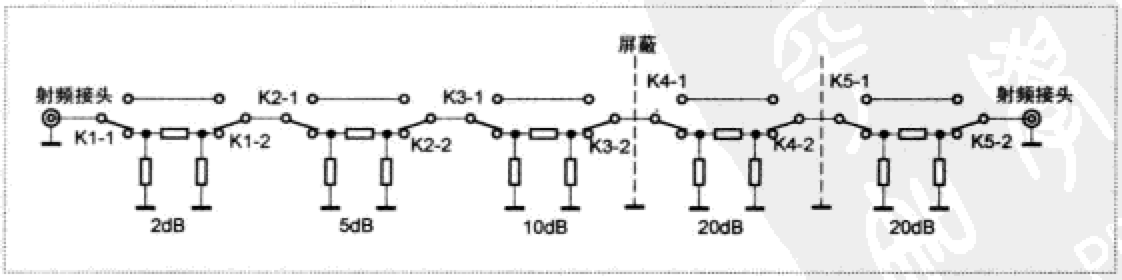


图7 步进衰减器电路图

铜板和贴片电阻制作，工作带宽从直流起，最高至1GHz，完全没有问题。把里面的振动开关换成继电器，这个衰减器就可以由单片机编程控制，继电器推荐选择NEC的EA2 系列（松下等公司也有兼容产品），如图9所示。

作为程控衰减器，一般要求衰减量等距步进，这时可采用二进制方式安排各级的衰减量，如下的五级衰减网络的组合1dB、2dB、4dB、8dB、16dB，就能以1dB的步进产生0~31dB的衰减量。如果对工作频率要求不高（200MHz 以下），也可以采用如图10所示的制作方法，简便易行。

因为射频信号很难用一个电位器来控制，所以多数连续可调衰减器都采用电控方式，变阻型的PIN二极管是最常用的电调元件。把图4电路中的低频调制信号换成一个可调的直流电压，它就变成了一个不错的电控衰减器。按图中的参数，它的工作频率自1MHz起，可以完美地工作到2GHz以上，对1GHz的射频信号，最大可衰减60dB以上，插入损耗不大于2dB。

总装

我们一共拿出了9块“积木”，已经足够拼装出一台很不错的高频合成信号发生器了，再下一步的问题就是如何组合它们。

1. 信号源的拼接

先说信号产生部分，这里经常涉及的两个问题是：一是如何用一个VCO产生大频率跨度的信号，另一个是如何拼接几个不同频段的信号源（比如3或4个VCO拼接在一起，或PLL-VCO与DDS的输出相拼合）。前者一般是用开关（机械的或电子的）切换VCO谐振电路中的电感来实现大频率跨度的输出，在频率较低的情况下（低于60MHz），可以用继电器作为电感的切换开关。对于由MC1648或MC12148构成的VCO来讲，因为谐振电感没有直接接地端，继电器切换频段大概是唯一的选择。而对于电容三点式振荡器来讲，则有诸多更好的选择，见图11和图12。

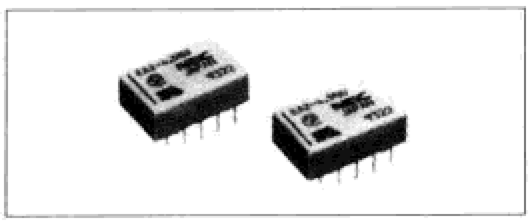


图9 NEC 的EA2 系列微型双刀双掷继电器

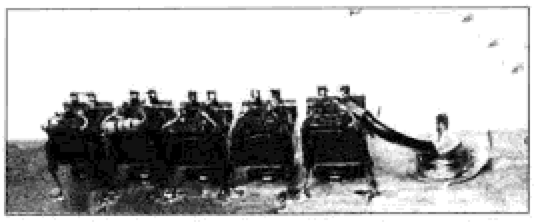


图10 工作频率不超过200MHz的步进衰减器

图11中使用普通的9018三极管对VCO的谐振电感进行选择。受限于元件的性能，它只适合在60MHz以下的频率工作。而图12的电路使用PIN二极管，可以自由地工作在数百兆赫的频率上。

下一个问题就是多个信号源的拼接，这里又是PIN二极管可以大显身手的地方了。

图13所示电路通过对信号源工作电源的直接切换来完成输出信号频段的转换，每个信号源的工作电源又直接控制自己的PIN二极管的开合，整个电路工作起来干脆利落。

2. 各个模块间的连接

前面介绍过的电路模块，其输入或输出的特性阻抗基本上都是按照50Ω设计的，模块间可以用50Ω同轴电缆直接互联。但一个复杂的高频电路系统，各模块之间的干扰、牵制是家常便饭，调试和组装过程中经常要将各模块不断地拆开、连接，这时就需要使用专门的射频连接器进行互联，图14就是常用的3种射频连接器的外形。

其中，N型连接器大而结实，适用频率在11GHz以内，常用作专业仪器的面板插座，绝少用于射频仪器的内部连接。

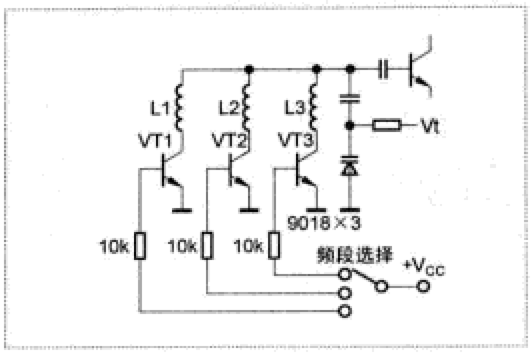


图11 用三极管选择谐振电感

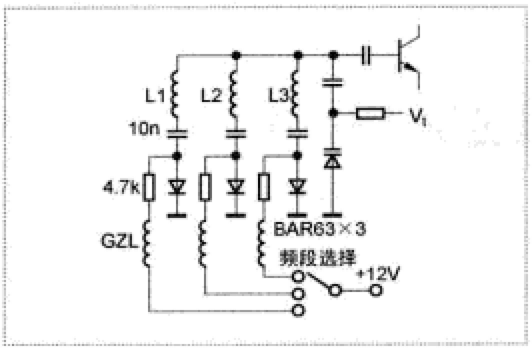


图12 用PIN 二极管选择谐振电感

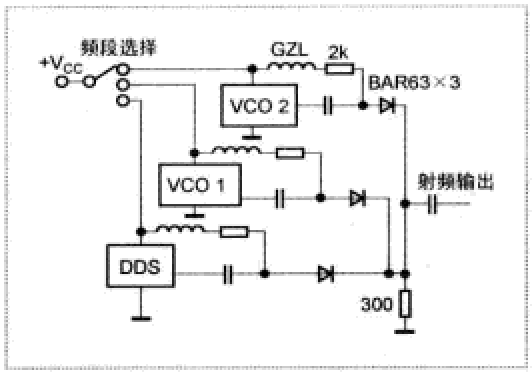


图13 使用PIN 二极管拼合不同的源

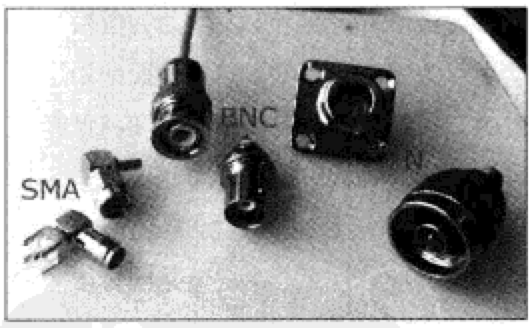


图14 SMA、BNC、N 型射频连接器

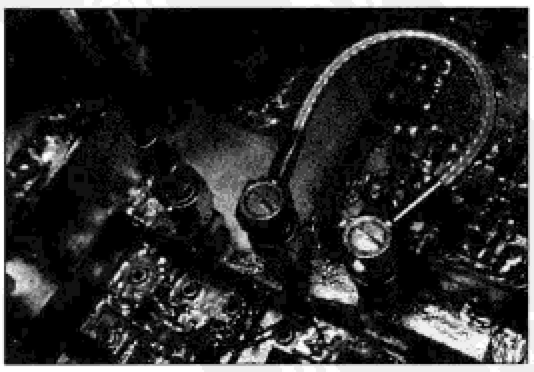


图15 模块连接情况

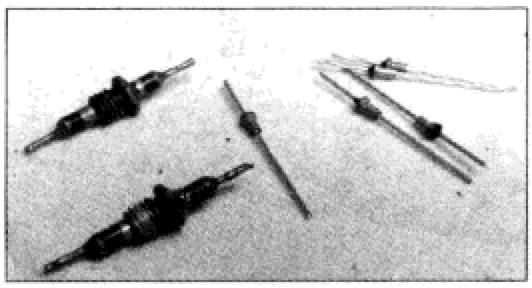


图16 穿心电容

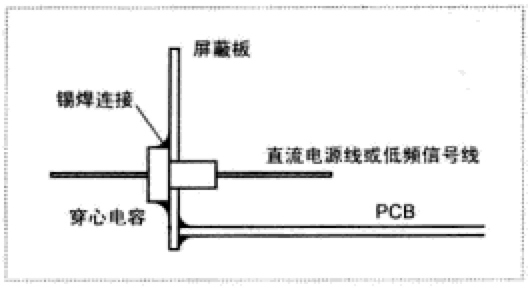


图17 穿心电容的使用方法

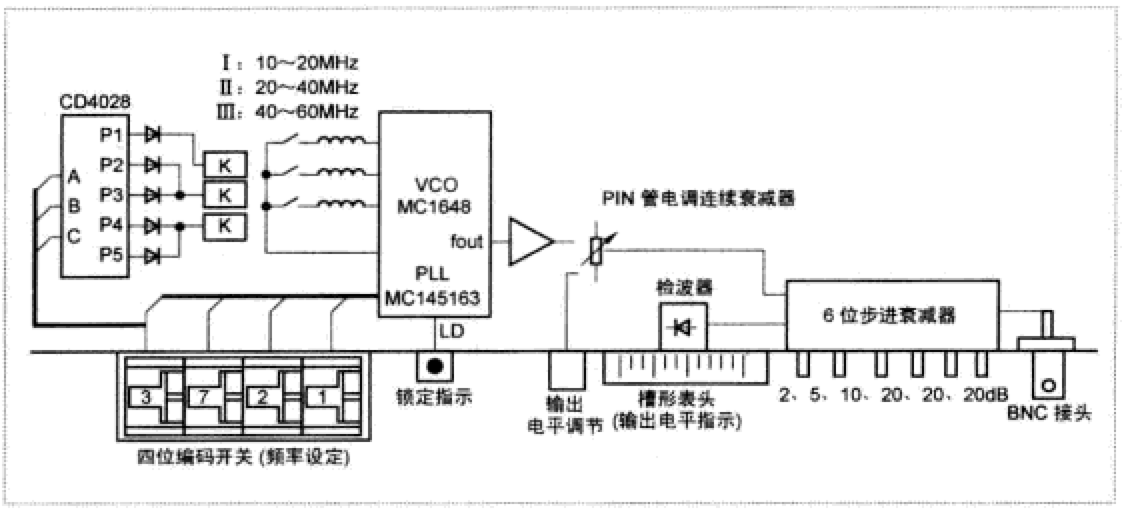


图18 整机设计1

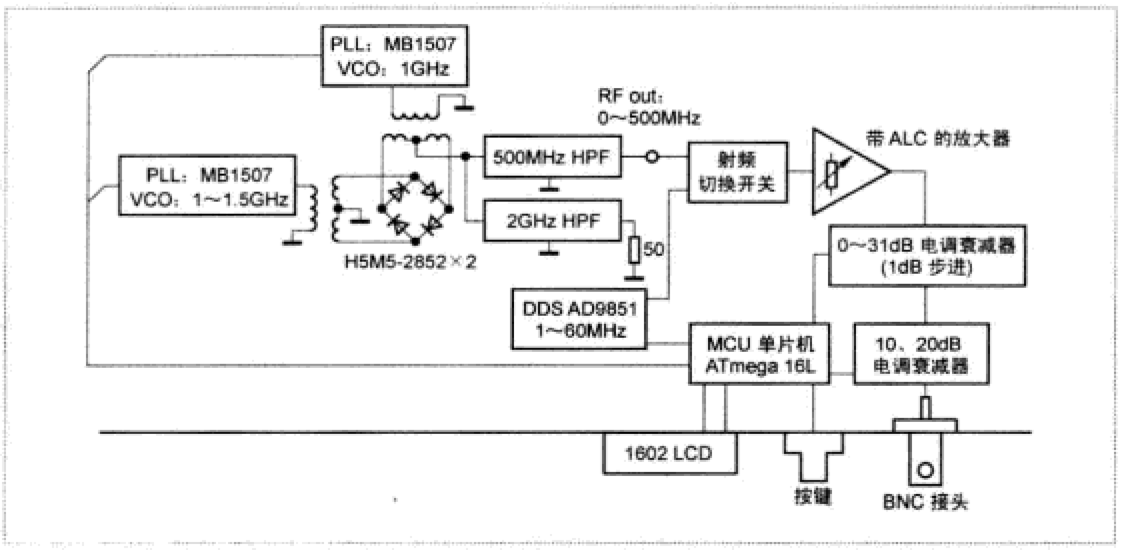


图19 整机设计2

BNC型连接器个头中等，价格低廉，卡口式结构，连接快捷，耐拔插，但最高工作频率不宜超过4GHz，通常在1GHz以上即不再应用。业余DIY的高频仪器可以使用BNC连接器作为面板插座。如果仪器内部空间足够，用作内部连接也不错。SMA连接器小巧、可靠、价廉，最高工作频率达12GHz以上，是最常用的小型射频连接器，也是DIY高频仪器首选的内部连接器。图15所示是一个具体的SMA连接器应用。

射频电路的各个模块应尽可能地装到各自的屏蔽盒中，屏蔽盒的材料可以选择薄铜片、薄的双面覆铜板，或者用最简陋的材料——用纸盒打底后贴上带不干胶的铜箔。射频的对外连接线使用同轴电缆，其外皮要在盒子的出口处完整地焊牢.电源线、直流或者低频的接线应采用穿心电容引出，图16是穿心电容的实例照片，图17是它的使用方法示例。

3. 整机设计组合

这里给出两个完整的高频合成信号发生器的设计框图，一个简单易做、不使用单片机即可完成，另一个则需要单片机指挥一切，功能也非常强大。

这是一个初级的10～60MHz高频信号发生器的整机及面板结构图，频段切换可以与编码开关自动同步。这也是笔者DIY的第一个合成信号源。

图19是一个1～500MHz射频信号源设计框图，采用单片机控制，1602液晶屏做显示，实现了完全的数字化。输出衰减器完全使用电调式的，它的输出分两个频段：1～60MHz 段由DDS产生，最小步进频率可低至1Hz；10～500MHz由两个VCO差频生成，最小步进频率为2kHz（依PLL设计而定）。在软件上努力一下的话，就可以把它设计成为一个带有扫频功能的信号源，配合外接的检波器和示波器，就是一套很好的扫频仪系统了。

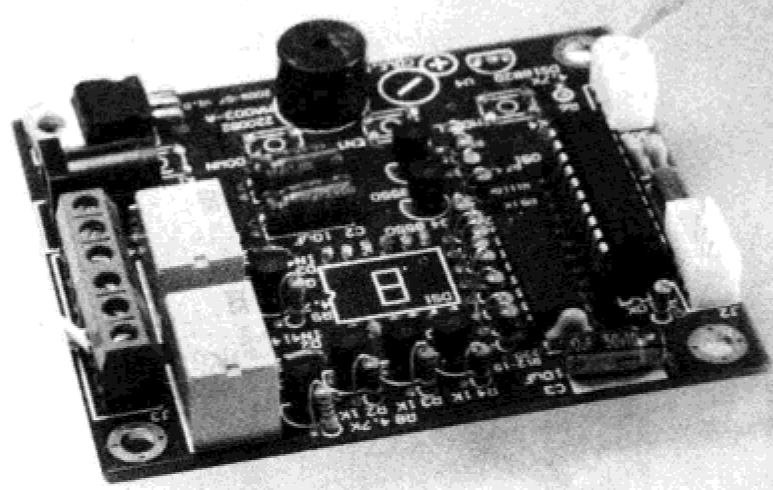
制作感受

最后谈谈笔者自制数台高频合成信号发生器的感受。

首先，单片机的运用可以大幅度地提高整机的性能。智能化的单片机控制不但可以自由地切换频段，更重要的是可以通过对PIN开关的控制，选择性地接入不同目的所需的滤波器、衰减器、放大器等，以实现高质量的信号输出。

其次，有好的测量仪器，才有可能制作出足够性能的产品。当你只有频率计、功率计、示波器和万用表时，想设计制作宽频带输出的VCO，就只能如图18所示的那样，使用多频段拼接的方式，要做成图19所示的双VCO差频输出式，几乎没有可能。可你一旦有了一台“射频万用表”——频谱分析仪，就会让你更多的梦想变成可能。事实上，双VCO差频方案可以产生更加干净稳定的输出信号，并可以轻易实现大跨度的频率覆盖。

DIY定时摄影装置



◎温正伟

缘由

有一个读者朋友看到我在本刊今年第2期发表的《DIY个性化尼康单反相机遥控快门》一文，便问我可不可以帮他做一个。不过他提出的额外的设计要求，就是增加定时定量拍摄照片的功能，因为他是个园艺爱好者，希望拍摄植物生长过程的照片。根据他的要求，我设计了一个电路，可以设置要拍摄的张数和间隔的时间，使用4位的数码管进行显示，通过4个按键进行操作，并且有声音提示，有理光格式的红外遥控信号输出，还有继电器接口可以接入各式相机的快门线。

原理

电路原理图见图1，主要使用了一片2051单片机进行控制，型号可以是AT89C2051或STC12C2051AD等，只要是51架构就可以。电源通过IN4007后进入LM7805被稳压成5V，为电路板提供5V电源。晶体使用12MHz，能使程序更精确地定时。电路使用4位的共阳极7段式数码管，位控制分别连接在8550三极管上，段控制连接在4-10线译码器74HC42上，不仅可以节约I/O口，还起到缓冲的作用，保护单片机不受损坏。5V继电器和蜂鸣器都是使用8550三极管控制的。4个按键和数码管的位控制共用I/O口。

这次制作中的程序编制最大特点就是使用了时间触发的嵌入式系统，这种系统原理是把需要执行的任务按所需要的周期时间来调度执行。程序使用2051中的定时器来定时计算时标，本程序设定的时标是10ms，也就是每10ms检查一次是否有任务需要执行。有的任务到了设定时间需要执行则执行该任务，有的任务没有到定时时间则在任务的时标变量中减去一个值，直到到达任务执行时间为止。在笔者提供的源代码中已包含了一个完整的时间触发系统，只要增加修改其任务子程序，就可以方便制作自己所需要的时间触发嵌入式系统。如在主函数main中，我们编写以下一段代码：

```
SCH_Add_Task(Key_GetCode, 0, 7);
```

意思就是把扫描按键的子程序Key_GetCode( )加入到任务中，在间隔0个时标后执行，以后每隔7个时标（70ms）执行一次扫描按键子程序。

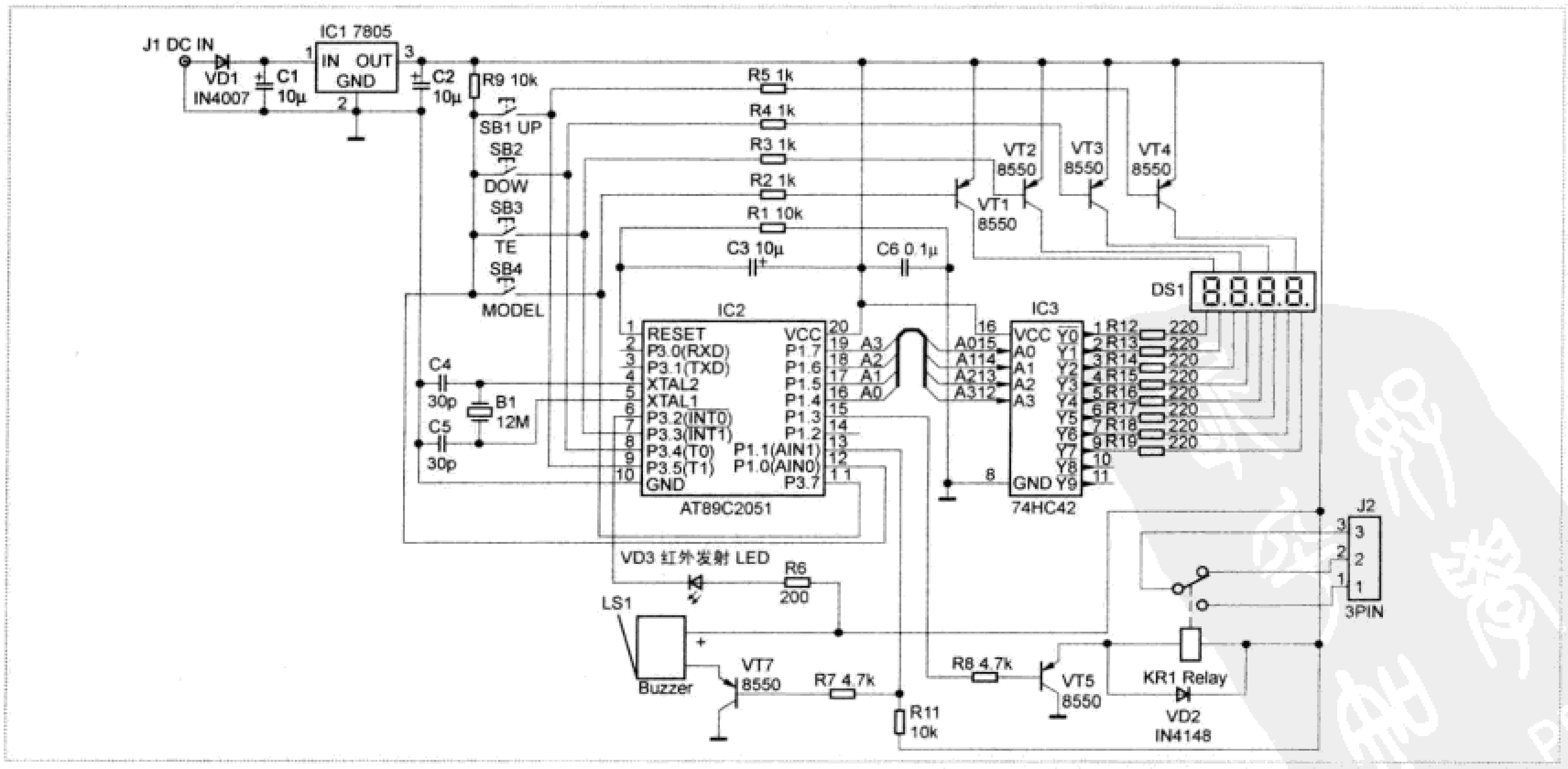


图1 电路原理图

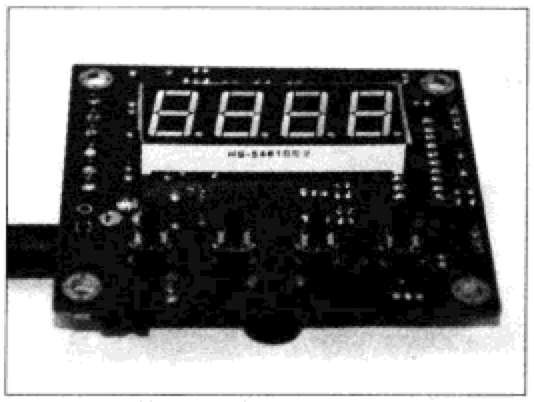


图2 制作好的电路实物（正面）

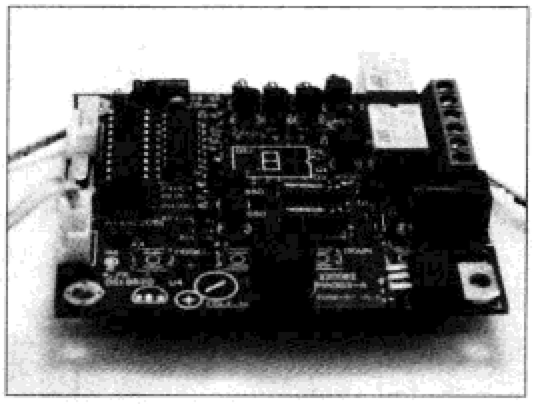


图3 制作好的电路实物（背面）

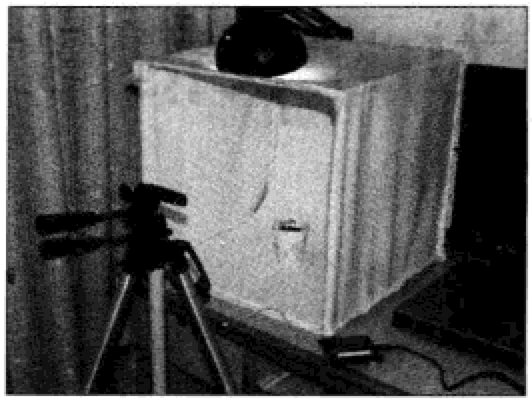


图4 采用红外输出控制拍摄的场景

图5 D70S的快门线

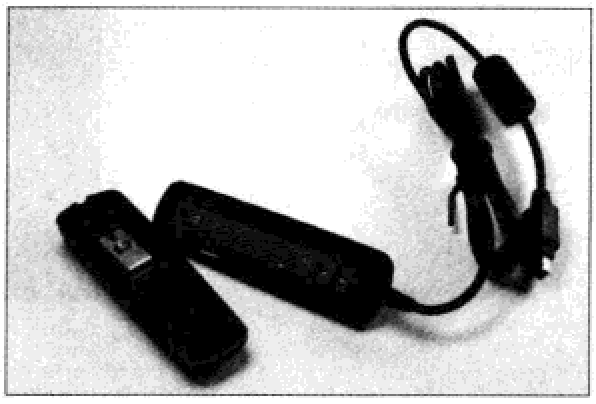


图6 快门线内部结构

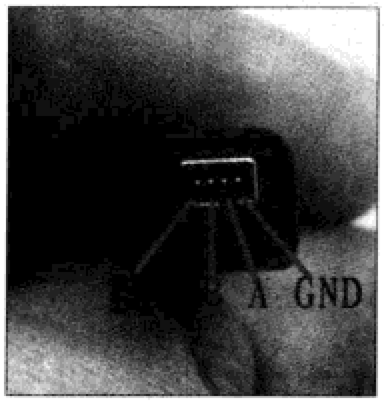


图7 快门线接头引脚定义

制作

此电路的制作并没有特殊要求，只需按电路图制作电路板，焊接好元件，把固件程序烧录到2051中就可以了。我使用了以前制作温度控制器的PCB制作这个电路，制作完成的成品见图2和图3。

使用

这个电路的使用方法非常简单。开机默认的时间间隔是1分钟，拍摄张数是10张。电路启动后会显示0，这时可以按Enter键载入默认参数并运行，也可以按Model键进入设置。设置项有2项，分别为tset（时间间隔）和cset（拍摄张数），按Up和Down切换设置项，选择后按Enter进入设置，然后出现当前设置项的设置值。这时可以按Enter退回设置项选择或按Model退出设置模式，退出设置模式会马上加载设置好的参数并运行。

这个制作可以使用红外遥控信号输出（仅支持尼康的如下机型：D40、D40X、D50、D60、D70、D70s、D80、D90、D5000、D3000、Coolpix 8400、8800、P6000）和使用继电器连接快门线。使用红外遥控信号输出时，只需要把红外发射二极管对着相机正面的接收窗口，然后把相机的快门控制方式拨到红外遥控模式，调整好焦距，就可以启动电路进行定时拍摄了。有一点需要注意的是，尼康的红外接收时间是可以设定的，超过设定时间仍没有信号被接收，则会自动返回标准快门控制方式。以尼康 D70S 为例，红外接收时间最长为 15 分钟，所以设置电路时间间隔时不可大于 15 分钟。图 4 所示为使用红外输出控制相机时的情景。

使用快门线可以把拍摄的间隔时间设置到足够长，前提是要有一条合适你相机的快门线。以D70S为例，因其快门线的接口比较特殊，很难找到接头进行自制，不过在市场上有许多非原装的快门线，一条也就十几元，可以购买来用它作为连接线。图5所示为D70S的快门线，图6所示为其内部结构，图7所示为接头引脚定义。只要把A和GND短接，相机就会对焦，把A、B和GND短接就会释放快门。只要把A、B并联到继电器的常开触点，GND接到继电器的触点，就可以用电路控制相机了。实际使用发现，最好是用2个继电器，先短接A和GND，再短接A、B和GND（本文只提供1个继电器版本的程序）。

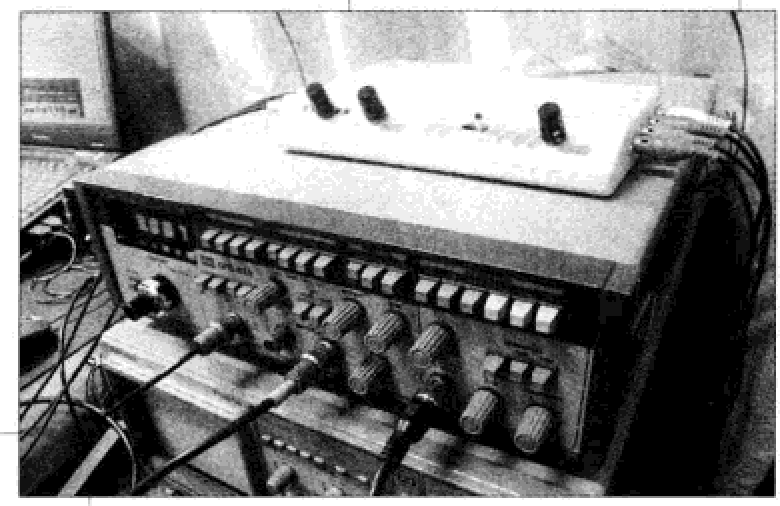
改进

此制作可以应用于一些特定的拍摄现场或特殊的设备控制。程序稍作修改就可以定时控制相机的B门曝光时间，实现精确时间控制的慢速摄影，也可以改做闪光灯控制等。该电路还可以直接作为周期性定时控制器使用。程序及电路的更新版本可以到《无线电》网站www.radio.com.cn或者笔者的论坛http://www.cdle.net/bbs下载，也欢迎读者朋友们提出更好的建议和意见。

为函数信号发生器扩展功能 下

◎林芝松

上期，笔者介绍了为GFG－813函数信号发生器扩展的3个功能，一是更换主信号频率调节电位器，二是增加对数扫描功能，三是自制检波探头。本文继续介绍这款仪器的改进与应用。



改进四 增加频标电路

用扫频信号测试电路、网络或元器件的频率特性时，往往需要知道频响曲线上某点的频率值，此时就需要有频标信号。形成模拟电路频标通常有以下方法：

1. 点频正弦波信号（来自标准的信号发生器）与扫频信号混合产生的差拍零频信号直接输入示波器Y轴。

2. 差拍零频信号经窄带通滤波器后形成的菱形频标叠加在频响曲线上。

3. 此菱形频标信号经施密特触发器整形，触发单稳态触发器，形成窄脉冲，由示波器Z轴输入，从而在频响曲线上形成一个亮点或亮线标志。

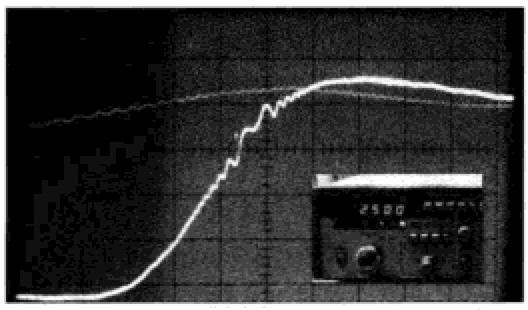


图13 音箱高音分频网络频响曲线上叠加的菱形频标(2.5kHz)

由于所扫频率为低频，如果直接用菱形频标显示，那么频标所占频带比例较大，会影响频响曲线的显示和频标点的确定，如图13所示，所以笔者采用第三种方法，电路如图14所示。

1. 原理

J1端口输入的经过RP1调节幅度的扫频信号与J2端口输入的经过RP2调节的点频信号（由标准信号发生器产生），一起送至由VD1、VD2组成的二极管混频检波电路，检出它们的差拍信号，再通过由R1～R4、C2～C5等组成的窄带低通滤波器滤除较高的频率成分，只有频率接近为0时的一小段差拍信号输出，其包络线呈现菱形，故称为菱形频标信号，如图15所示。因为此菱形频标信号的幅度较小，且带载能力差，所以采用IC1（TL082）进行放大。IC1b为电压跟随器，提高输入阻抗，减小对前级的影响，IC1a为反相放大器，放大倍数通过RP3来调整。调节RP3，使菱形信号幅度大小适合于由IC2a（4093/4）组成的施密特整形电路的触发电平，使IC2a的3脚输出的脉冲下降沿正处于菱形频标的中点（幅度最大处）；IC2b和R9组成单稳态触发器，IC2d起到极性转换作用，通过S2的选择，选出上升沿触发或下降沿触发的脉冲（视具体的示波器而定），送到示波器Z轴形成亮点或亮线频标，如图16所示。

S1的作用有二：一是由于频标的频率由几十赫兹至十几兆赫，跨度近6个数量级，所以有必要对滤波级数进行选择。频率低时，如几十赫兹至十几千赫兹时，频标信号应由“4”输出，保证滤波的效果；频率高时，如几百千赫兹或是数兆赫兹时，应由“3”或“2”输出，保证输出的菱形频标信号具有一定的幅度。二是J4输出的频标信号可用示波器进行监测，调节S1的挡位，调整RP1、RP2，使产生的菱形频标符合要求。同时，IC2采用单电源低电压供电（+5.6V），有效降低了触发电平。

C6的作用是隔直流，只选出菱形频

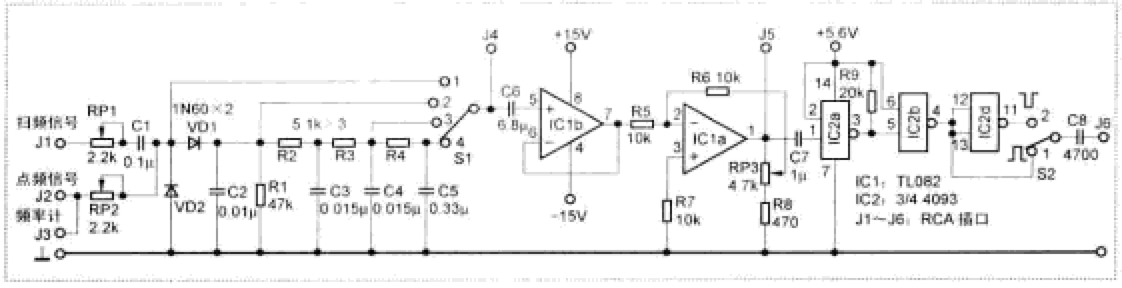


图14 频标电路原理图

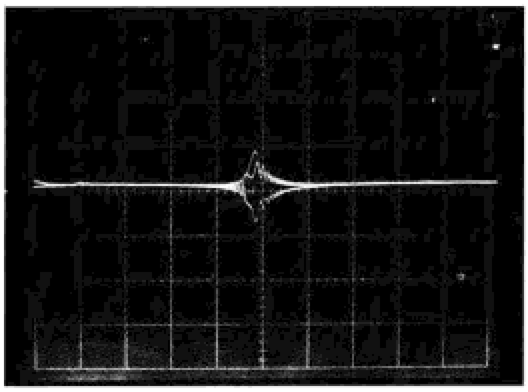


图15 菱形频标信号

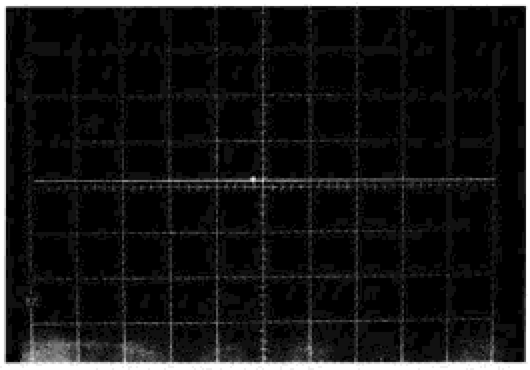


图16 X轴基线上的频标亮点（所标志的频率为9.000kHz）

标信号进行放大，C7的作用同C6，只让菱形频标通过。调整C8容量的大小，可改变频标的亮度和亮点的大小（或亮线的粗细）。J3输出的点频信号可接至GFG—813的频率计输入端口（EXT COUNTER），监测频标的频率。

2. 组装

本频标电路与上期介绍的对数变换电路组装在同一块洞洞板上，电位器RP1、RP2和RP3安装在外壳上，电容全部采用有机薄膜电容，J1～J6接口采用RCA插座。

3. 调试

J1、J2端口分别输入扫频信号和点频信号，J3接至GFG—813内设的频率计的输入端口，并使用“EXT/INT”按键，使频率计为外测状态。J4接至示波器的Y2，GFG—813的锯齿波输出（“MOD”端口）接至Y1，并按“SWP”键，示波器设置为“X—Y”状态。设置扫频频段和调节点频频率，使它们相适应。调节它们的输出幅度，并同时调整RP1、RP2，使示波器Y2的波形如图15所示。选择S1的不同挡位可观察到不同滤波的频标波形。将示波器Y2接至J5，并调节RP3，可观察到被放大了的菱形频标波形。J6接至示波器的Z轴，Y2空置，调节RP3可观察到如图16所示的图像，调整点频的频率（或调节主信号频率的旋钮）可看到亮点的移动。至此，说明频标电路能正常工作了。

整机的组装

按GFG—813电源开关，接通电源，组装的电路板的电源指示灯点亮，然后用示波器检测锯齿波输出端口，按动“线性/对数”变换开关，显示的波形能在线性与对数之间变换即可。组装过程见图17～图20，完工后的“机顶盒”如题图所示。

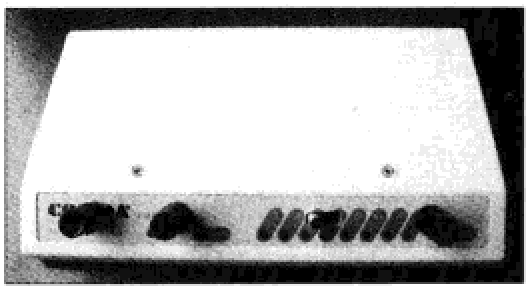


图17 利用集线器外壳作机壳

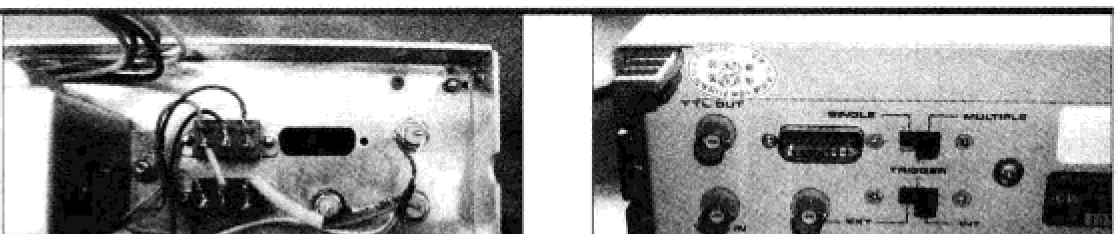


图18 在GFG—813的后背板上安装上DB15连接头

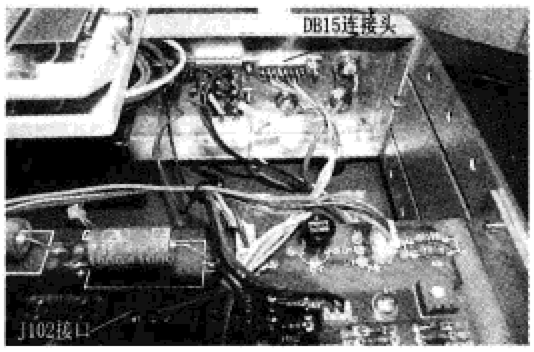


图19 找到J102接口，连接±15V电源

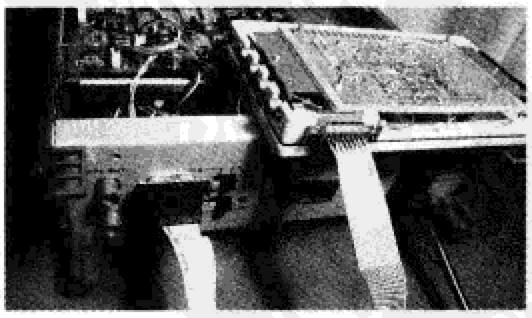


图20 用DB15连接线连接GFG—813与组装的电路板

应用实例 1. 应用方波信号估测运放的带宽

方波信号是由基频和基频的许多奇次谐波以特殊的相位关系和幅度相加而成的。谐波越多，方波就越好。当然，基频和谐波成分都是纯正弦波。因此，若一个放大器能不失真地放大方波，则它一定可通过几乎所有的谐波成分，因而具有足够的带宽。GFG—813输出的方波信号的上升、下降时间小于20ns，应用于音频的测试是很理想的。所以，放大器用方波信号来测试，不但可测量放大倍数，还可对放大器的频率特性有很好的了解。

图21是笔者组装的用于估测运放带宽的电路板，电源采用±15V伺服电源。图22～图24是AD827、AD712、TL082测试结果的波形图，可明显看出它们的带宽差别。测试时示波器设置为“双踪”状态，Y1、Y2的衰减设置应一致，输入皆为“DC”。图中下方的波形为Y1，输入的是来自信号发生器的方波信号，上方的波形为Y2，是电路板输出的经过运算放大器放大了的方波信号，增益$G=V2/V1=1+R2/R1=1+47/10=5.7$，与屏幕显示的波形幅度比值相等。

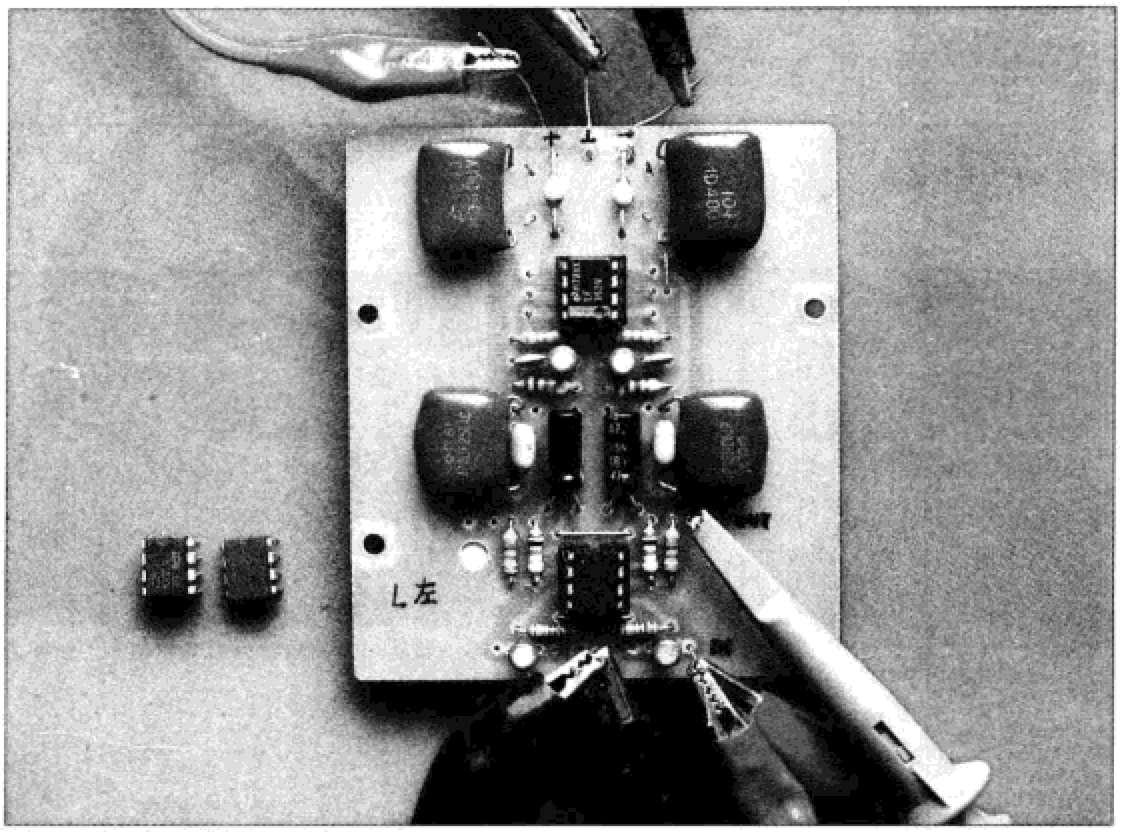


图21 应用运放组装的放大电路板

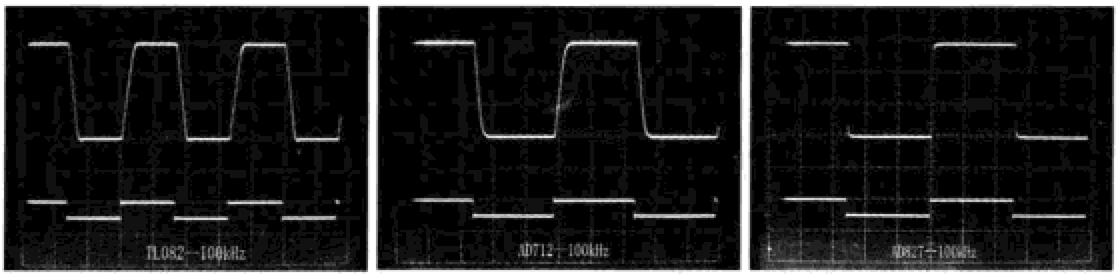


图22 方波频率为100kHz时的测试结果

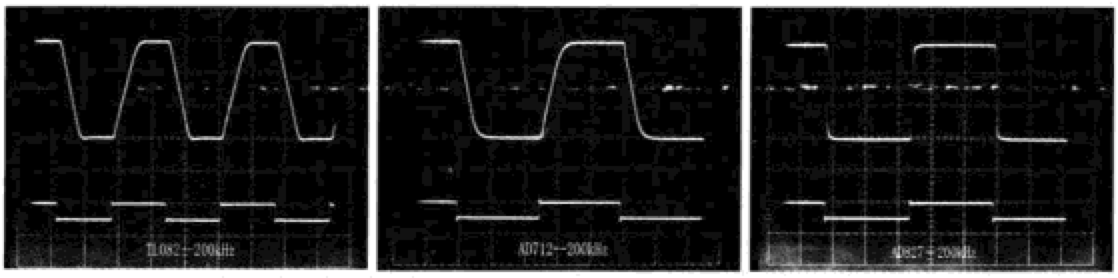


图23 方波频率为200kHz时的测试结果

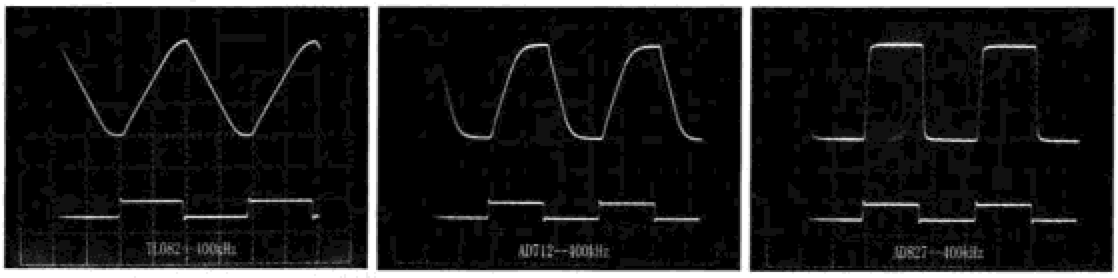


图24 方波频率为400kHz时的测试结果

方波前后拐角变圆时，就意味着放大器的高频响应下降。如图23所示，当方波频率为200kHz时，AD712、TL082的方波已出现明显的圆角。更有甚者TL082在400kHz时的方波波形已趋向基频波形——正弦波，说明方波的大多数谐波被过度衰减，当在1MHz时连放大能力都几乎尽失。为了保持理想的方波波形，放大器必须具有约10倍于方波的频率响应。所以在选用运放或设计放大器时，应该充分重视对带宽要求。

此电路板配合方波信号就可检验出运放的真伪。

应用实例 2. 音箱分频器的测试

利用GFG—813输出的扫频信号配合示波器，可对音箱的分频器进行测试和调整。

1. GFG—813 的设置：主信号部分：设置频率范围（RANGE）为 1kHz，函数波形（FUNCTION）为正弦波。

调制部分：按“SWP”按键，RANGE设置为 100Hz，频率计设为外测（“EXT”）。

2. 示波器的设置：示波器设置为“X—Y”状态，Y1被设置为*X*轴功能；Y1、Y2为“DC”输入。如果是单踪示波器，*X*轴设置为“EXT”。

3. “机顶盒”的设置：滤波选择置“4”，3个幅度调节电位器置于中间位置，锯齿波选择开关置于“对数”，*Z*轴触发脉冲选择正脉冲。

4. 点频信号发生器，应能输出一定幅度的正弦波，并且频率可调。它的输出（如2.0kHz的正弦波）与扫频信号经混频、检波、滤波产生菱形频标，要求输出的点频正弦波失真度尽可能小，频率稳定度越高越好，也可使用ICL8038、XR2206、MAX038等自行组装。

5. 连接：各机的连接如图25所示。

6. 调试：调节示波器Y1的衰减和增益以及Y1和Y2的位移，使扫描线位于屏幕的中央(Y2输入悬空时)，水平方向展开为10格。调节GFG—813输出的扫频信号幅度和Y2的增益，使屏幕显示的波形幅度适中（比如垂直方向6～7格）。调节GFG—813输出锯齿波的频率（FREQ旋钮），从低开始缓缓调高，直到屏幕上的波形不闪烁为止，此时频率为10～30Hz（视示波器而异）。接着调节GFG—813的触发相位（TRIGGER PHASE）旋钮，使波形稳定。

频标的调节是个难点。首先调准点频频率，如 2.0kHz，接着把示波器 Y2 接至“机顶盒”的 S1 输出端，反复调节扫频幅度和点频幅度，使屏幕显示如图 15 所示的菱形波形。再使 Y2 输入悬空，缓缓调节频标幅度电位器（图 14 中的 RP3），直到扫描线上显示一个频标亮点。

此时应注意，点频信号的谐波与扫频信号的基波、谐波都能产生差拍，并形成相应的频标点，一般由基波产生的频标幅度最大。所以在调节上述3个幅度电位器时，要反复调节并认真辨别频标亮点，以免产生差错。尤其是频标幅度的调节，要使它在最小时产生频标亮点，以减少其谐波的干扰。然后把Y2接回至原先的测试点，如低音或高音网络输出端（见图26），屏幕显示如图27、图28所示的图形。调节主信号频率调节旋钮可改变扫频中心频率，调节调制的锯齿波幅度（“MOD”幅度调节旋钮）可改变频偏的大小，以适应测试的要求，有必要时可采用分段扫频。

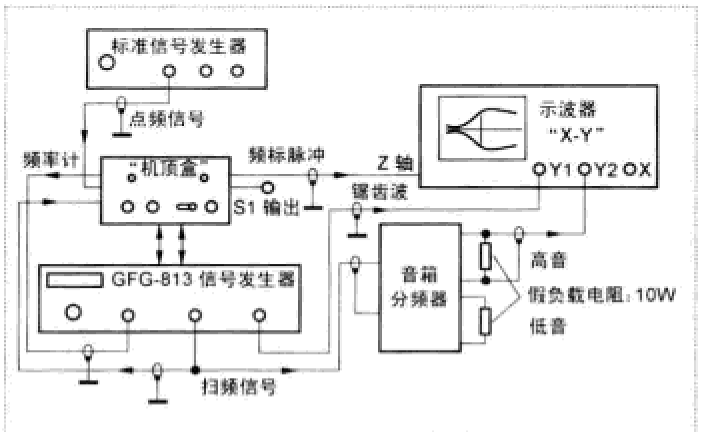


图25 调试音箱分频器的连接图

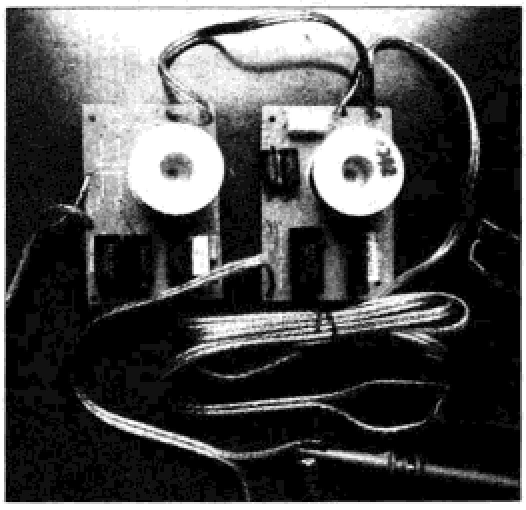


图26 待测试的音箱分频器（左边是高音网络，右边是低音网络）

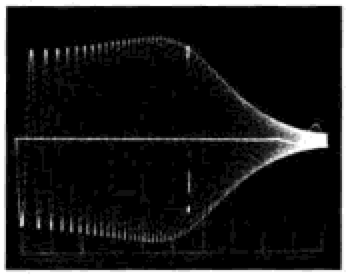


图27 低音网络的幅频特性曲线

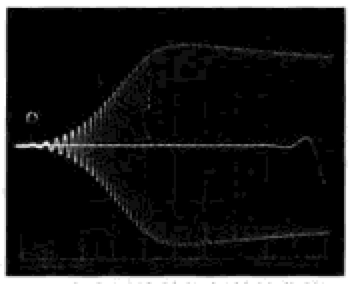


图28 高音网络的幅频特性曲线

为了减小动态测量（相对于点频描点的静态测量）的误差，应尽量将频偏调小一些（调制的锯齿波幅度），并尽量降低扫频速度（锯齿波频率）。

对于频率较低的扫频测试，扫频速度更要调低，但同时会存在示波器显示闪烁的矛盾。如果能配合长余辉慢扫描示波器，效果会好些，能配合数字存储示波器来使用那就更理想了，否则只好配合双针毫伏表用点频描点法来测试，如测试低音扬声器的阻抗曲线和谐振频率等。

后记

GFG—813 函数信号发生器在调试收音机的中频（调幅和调频）、测试放大器的幅频特性等应用中都有不错的表现，是音频爱好者工作室信号源的选配佳品。上述所介绍的功能扩展和使用实例旨在抛砖引玉。在制作和调试过程中，笔者发现，对于低频（尤其是 100Hz 以下）频标的加入实非易事，这个制作的频标电路在一二百赫兹的频率以下表现得不尽人意，能否有更好的方案，笔者仍在努力，同时也期望得到高手的赐教。

全铝型材雕刻机打造方案 制作篇

◎谭利民

拥有一台雕刻机是许多爱好者的梦想，刻电路、雕模具……买一台雕刻机价格往往不菲， DIY自然成了爱好者的首选。选什么材料做雕刻机呢？这非常重要。木板、塑料板、铝板、钢材、浇铸，都可以制作雕刻机的机架，但木板和塑料板材质太软，不理想，铝板和钢板硬度高，但加工费用高（加工费高于材料费），浇铸更不是个人能为之的。所以我们做机器的原则应该是力所能及、物所能用。先做好小机器，以后可以做出大机器；先用手工来打造，以后再向工业数控靠近。本期，我将为大家介绍一个全铝型材雕刻机的DIY方案，这个方案让爱好者有个台钻或者手电钻以及一些钳工工具就可以完成DIY。

这个雕刻机DIY方案采用的工业铝型材是铝合金材料，其材质、性能、尺寸公差等都有较严格的要求和标准。这种材料制作出来的机器，外形美观，连接方便，有强度，不生锈。笔者选择了不同型号的型材，合理利用这些型材的形状，精心设计，我们可以像搭积木一样，用铝型材做出漂亮、实用的雕刻机来。

发达的网络信息 ，畅通的网络购物渠道，让我们购买制作材料变得非常容易。你只要告诉某个网络店家所需铝型材的型号、长度，通常1个星期就可以拿到制作材料了，除了板材，光轴、丝杆、联轴器、手轮、步进电机都可以在网上购买到。做一台全铝型材雕刻机的机器加工行程是250mm×170mm×70mm，机架价格在1200元左右。

表1

型号	长度（单位：mm）	数量	位置
铝型材 2080	390	2	台面板
铝型材 2080	160	2	Y轴前后板
铝型材 15120	120	1	Z轴移动板
铝型材 1590	290	1	Y轴移动板
铝型材 1590	220	1	X轴移动板
铝型材 1560	300	2	X轴左右板
铝型材 1560	90	2	Z轴上下板
铝型材 1560	75	2	Z轴电机固定板
铝型材 1560	60	4	X、Y轴电机固定板
铝型材 1530	260	1	X轴上连接板
铝型材 1530	50	4	X、Y轴连接板
M5方型螺母	50		
内六角螺丝	若干		

注：以上铝型材的钻孔加工尺寸图可以在《无线电》网站www.radio.com.cn上下载。

表2

部件名称	型号/数据	数量	价格	备注
光轴	X轴：ϕ16mm×260mm长	2	240元	按照图2要求，加工好各轴的长度和两端的中心螺纹孔。
	Y轴：ϕ16mm×350mm长	2		
	Z轴：ϕ12mm×190mm长	2		
运动滑块	SCS16LUU	4		X、Y轴用
	SCS12UU	4		Z轴用
	SCS16LUU壳	2		滚珠丝杆连接螺母用（一个壳可以做两个连接座）
步进电机	57型、1.5A左右两相，轴径为6.35mm	3	25元/个	
联轴器	孔径两端6.35mm 长度30mm 外径20mm	3	20元/个	
轴座	孔径8mm	6	15元/个	
手轮	外径75mm 孔径8mm	2	12元/个	

注：光轴和滑块（见图3）。

准备材料

铝型材购买尺寸和数量可根据表1所附资料准备，我们可以请订制厂家根据这些材料的尺寸加工好。笔者加工好的铝型材见图1，其余部件的加工资料见表2。

另外，3根滚珠丝杆价格约480元。滚珠丝杆无侧隙、刚性高，是工具机和精密机械上最常使用的传动元件。当然，我们也可以选择梯型丝杆或者螺丝杆，价格就大大降低了，业余使用是没有问题的，只是外加工麻烦，而且精度、强度就不那么理想了。梯型杆价格在240元左右，螺丝杆不超过100元。注意，无论采用哪种杆，螺母都要做成消间隙结构的。图3所示是笔者加工好的几种材料。三轴的丝杆加工尺寸如图4所示。

滚珠丝杆螺母座采用SCS16UU滑块壳，照图5加工后，套入滚珠丝杆螺母中，用螺丝来固定就可以了。

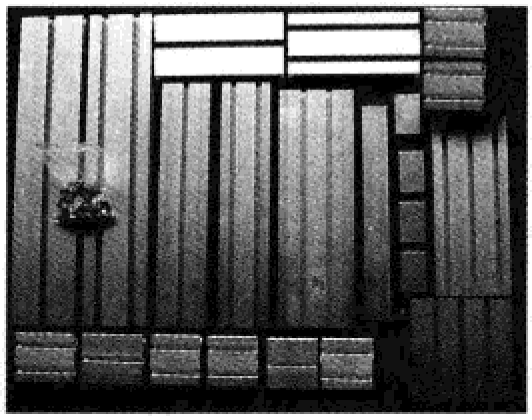


图1 所需铝型材

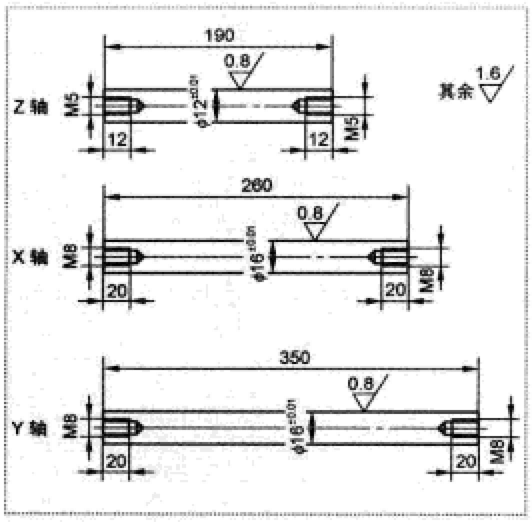


图2 各轴加工数据

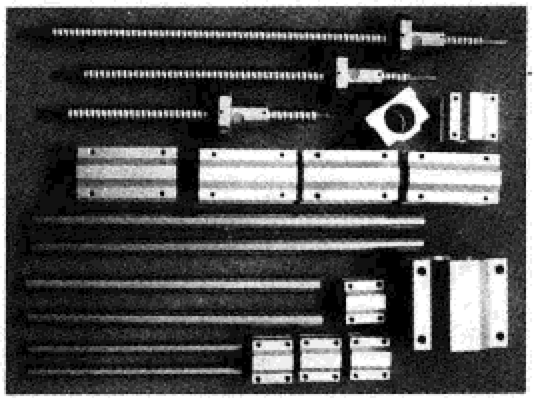


图3 滚珠丝杆、光轴和滑块

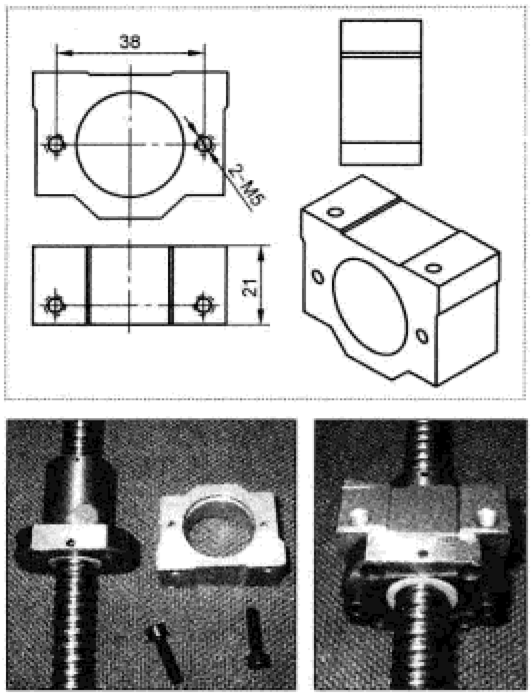


图5 滚珠丝杆

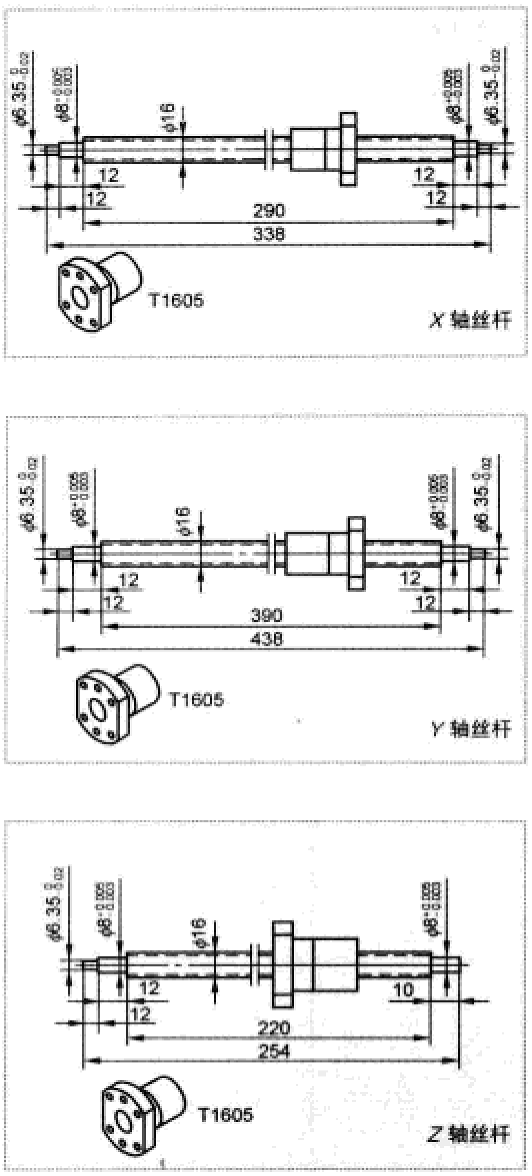


图4 三轴丝杆加工数据

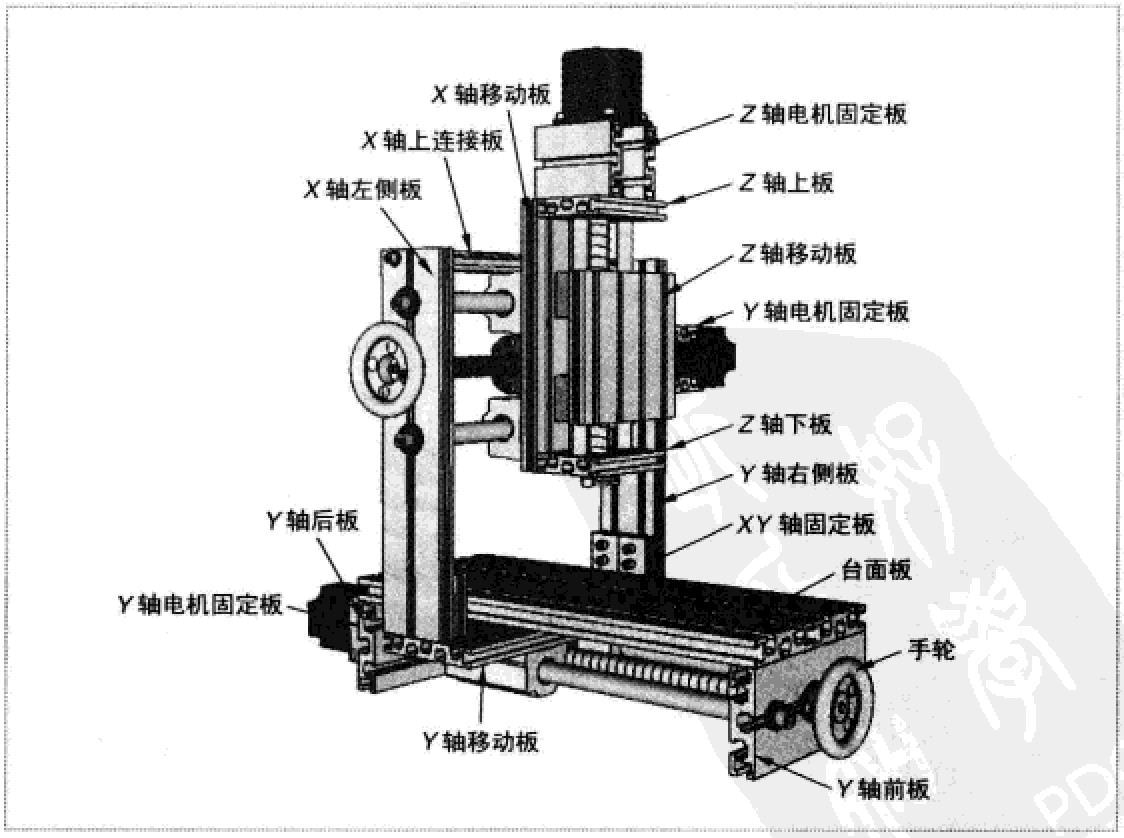


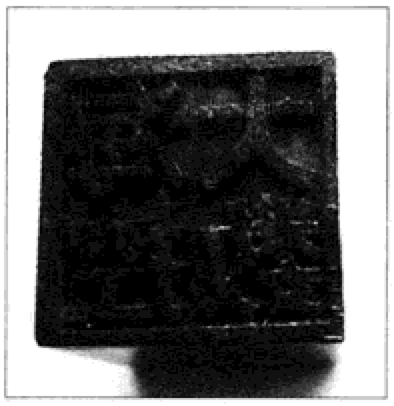
图6 雕刻机的机身结构

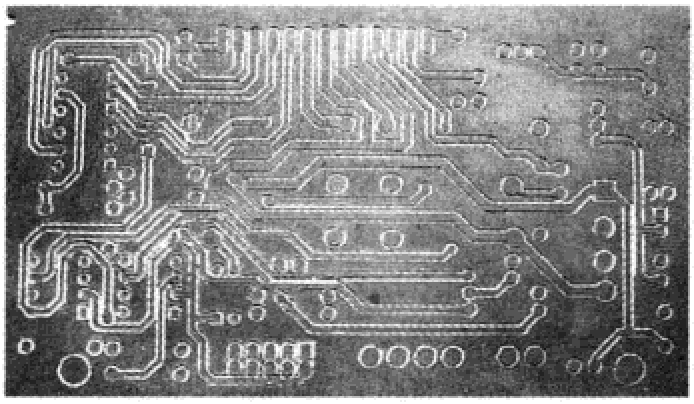
铝型材加工

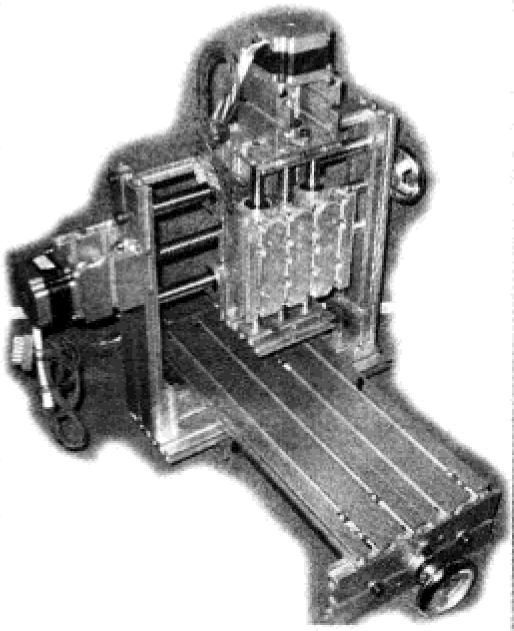
图6是这个雕刻机机身的结构，我们需要把准备的铝型材按表1的要求进行钻孔加工。笔者提供了完整的铝型材加工尺寸，读者可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

加工时，划线要准确，最好有划线卡尺，打准样冲，钻大孔先用小钻花，攻丝的孔请留余量，钻好孔后去毛刺。

我的雕刻作品







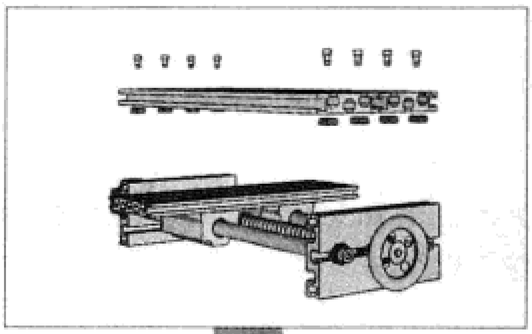
笔者做好的成品机器图

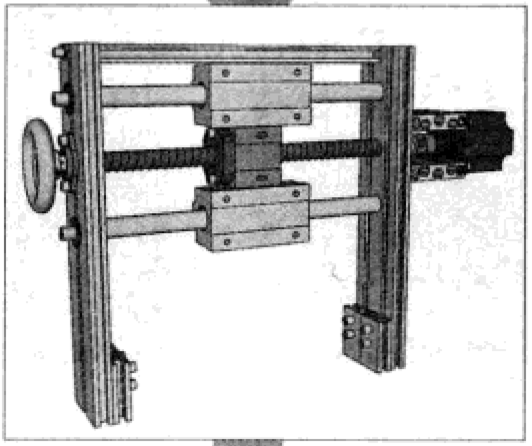
组装

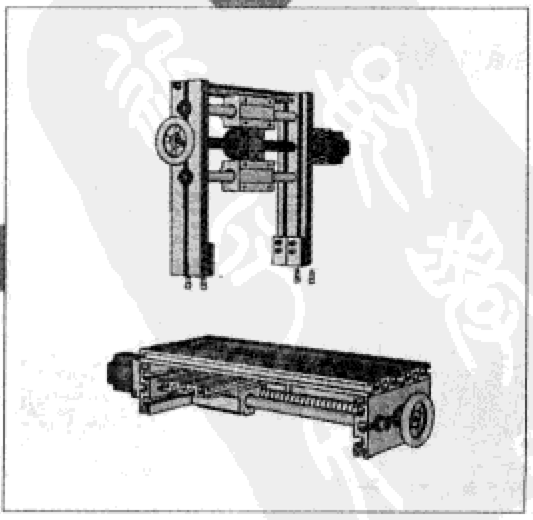
把加工好的板子组装起来时一定要仔细，紧固螺丝杆的长度、力度要适宜，运动单元要移动流畅，没有螺孔的地方要用方螺母在铝型材槽中连接，组装示意图见右侧，更详细的组装步骤见《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上的相关文件。

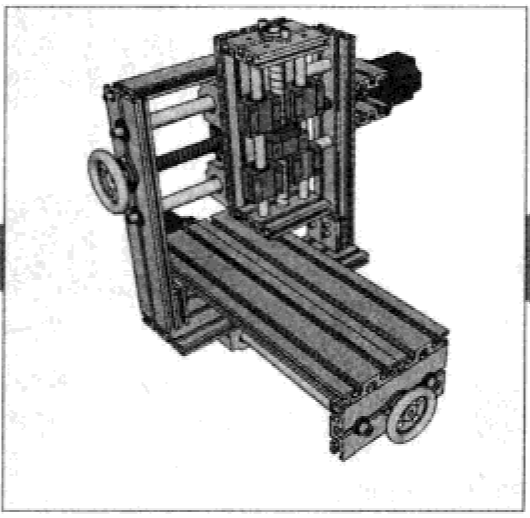
组装完成后，再用百分表测量各个部件，进行细调。要为运动单元注入机油，丝杆中不能有异物。这样，一台小巧方便、漂亮实用的雕刻机就制作完成了。

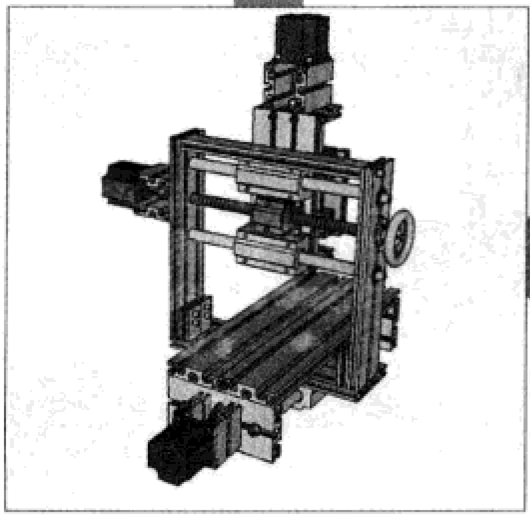
这台全铝型材雕刻机可以雕刻PCB、浮雕、图章，进行艺术品创作，学习数控，是一台人人都可以做、人人都可以用的机器。在控制电路和软件的配合下，我度过了不少“雕刻时光”。











全铝型材雕刻机打造方案
控制电路篇

◎谭利民

雕刻机控制的工作原理是：计算机把设计与排版的信息转化成能驱动步进电机或伺服电机的脉冲信号，生成*X*、*Y*、*Z*三轴的雕刻走刀路径。雕刻机上的高速旋转雕刻头的刀具，按照生成的走刀路径，对固定于主机工作台上的加工材料进行切削，即可雕刻出在计算机中设计的各种平面或立体的浮雕图形及文字，实现雕刻自动化作业。这些复杂的运动都是由电路控制的。

雕刻机工作需要1台计算机、1个接口板、几个电源、3个步进电机驱动器、1个主轴电机，以及一些开关限位和按钮。图1为雕刻机工作系统的配置图。

其中，计算机就是普通的有并口或者USB口的计算机，接口板用于连接计算机与电机驱动器。根据雕刻机软件不同，接口板有并口输出和USB口输出两种。

并口接口板

好的接口板对雕刻机正常工作很重要。图2所示是一个功能很强的并口接口板，可以输出最多6个轴的步进电机信号、5个输入信号，或者直接接3个继电器，还可以接变频器，控制主轴转速。电路采用了74244芯片来进行信号隔离和增强处理，输入部分采用了光电耦合器。

USB口接口板

图3是一款USB控制的CNC控制板电路，笔者根据这个电路制作的实物如图4所示。

主轴电机

主轴电机可以选择径向跳动小的直流电机，也可以直接使用电磨（图5），或者使用专业的水冷雕刻主轴（图6）。电磨转速高，可以直接接市电，只是噪声太大。水冷雕刻主轴的转速可以调，能长时间工作，但价格较贵。业余的情况下，笔者觉得用直流电机很实惠。

雕刻机的三轴运动是由电机转动丝杆进行的，运动的电机可以是步进电机和伺服电机，伺服电机运行速度快，可以实现闭环控制，但成本高，业余制作驱动器很难。步进电机价格低，小电流的电机驱动器有驱动一体模块，外围元件简单，业余情况下很容易制作成功，一个驱动电路仅50元左右。以前的L298、TA8435芯片现在已经停产，代替它们且性能超过它们的芯片现在有很多。作者推荐使用TB6560芯片制作步进电机驱动电路，这个芯片很适合57两相步进电机的驱动。

步进电机驱动器

TB6560是东芝公司推出的低功耗、高集成两相混合式步进电机驱动芯片。其主要特点有：内部集成双全桥MOSFET驱动，最高耐压40V，单相最大输出电流3.5A（峰值）；具有整步、1/2、1/8、1/16细分方式；内置温度保护芯片，温度大于150℃时自动断开所有输出；具有过流保护，采用HZIP25封装。

TB6560步进电机驱动电路信号采用高速光耦隔离，增加了自动半流控制、细分和衰减拨码开关选择功能。脉冲信号和电源有指示，加有8个续流二极管保护芯片。电路原理图和PCB图如图7、图8所示。

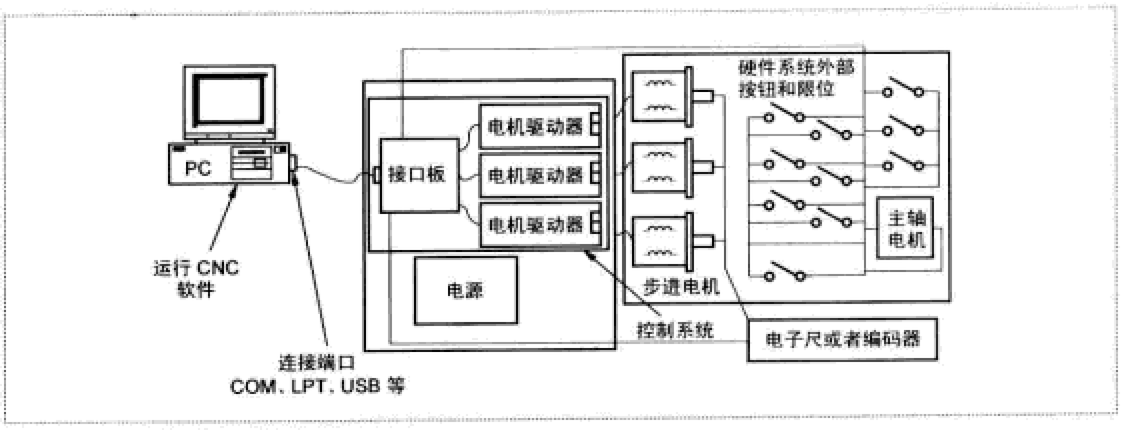


图1 雕刻机工作系统配置图

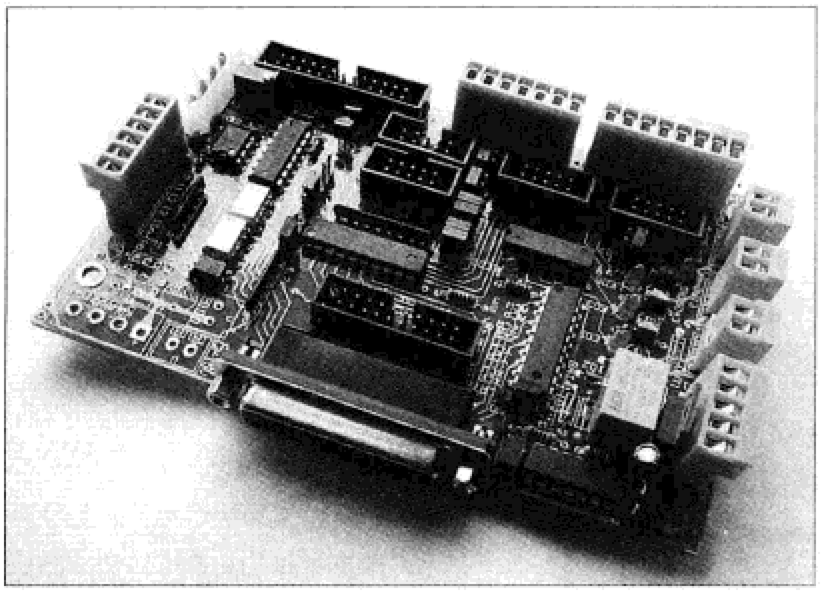


图2 并口接口板电路实物

图5 电磨

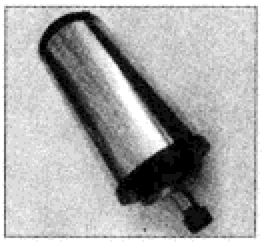


图6 水冷雕刻主轴

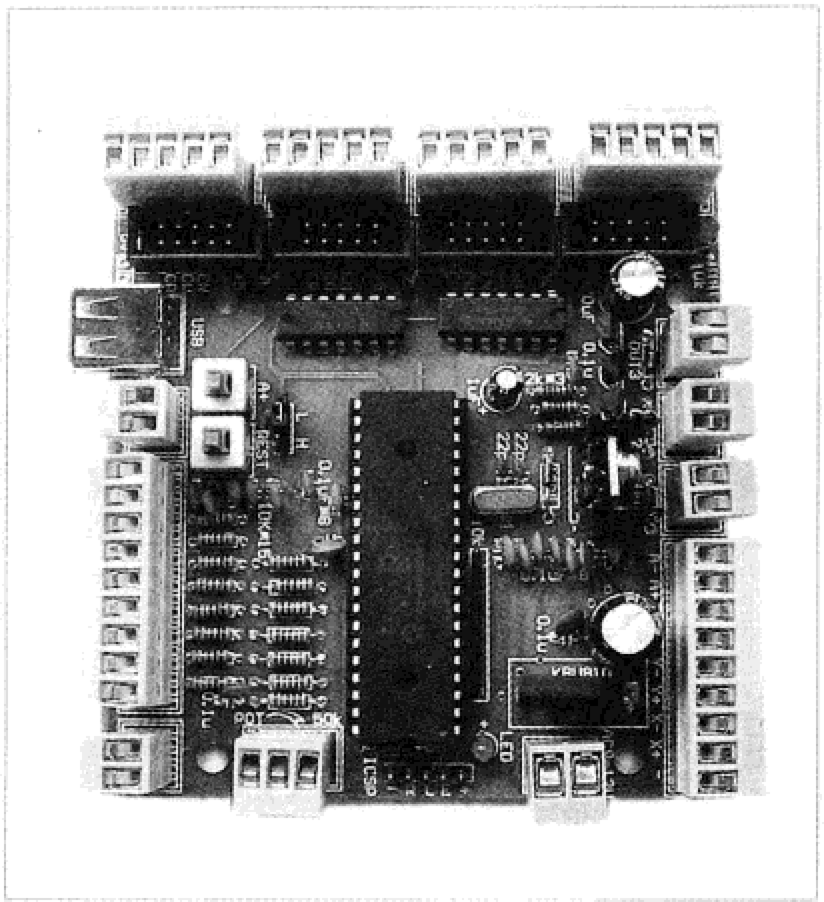


图4 USB口接口板实物

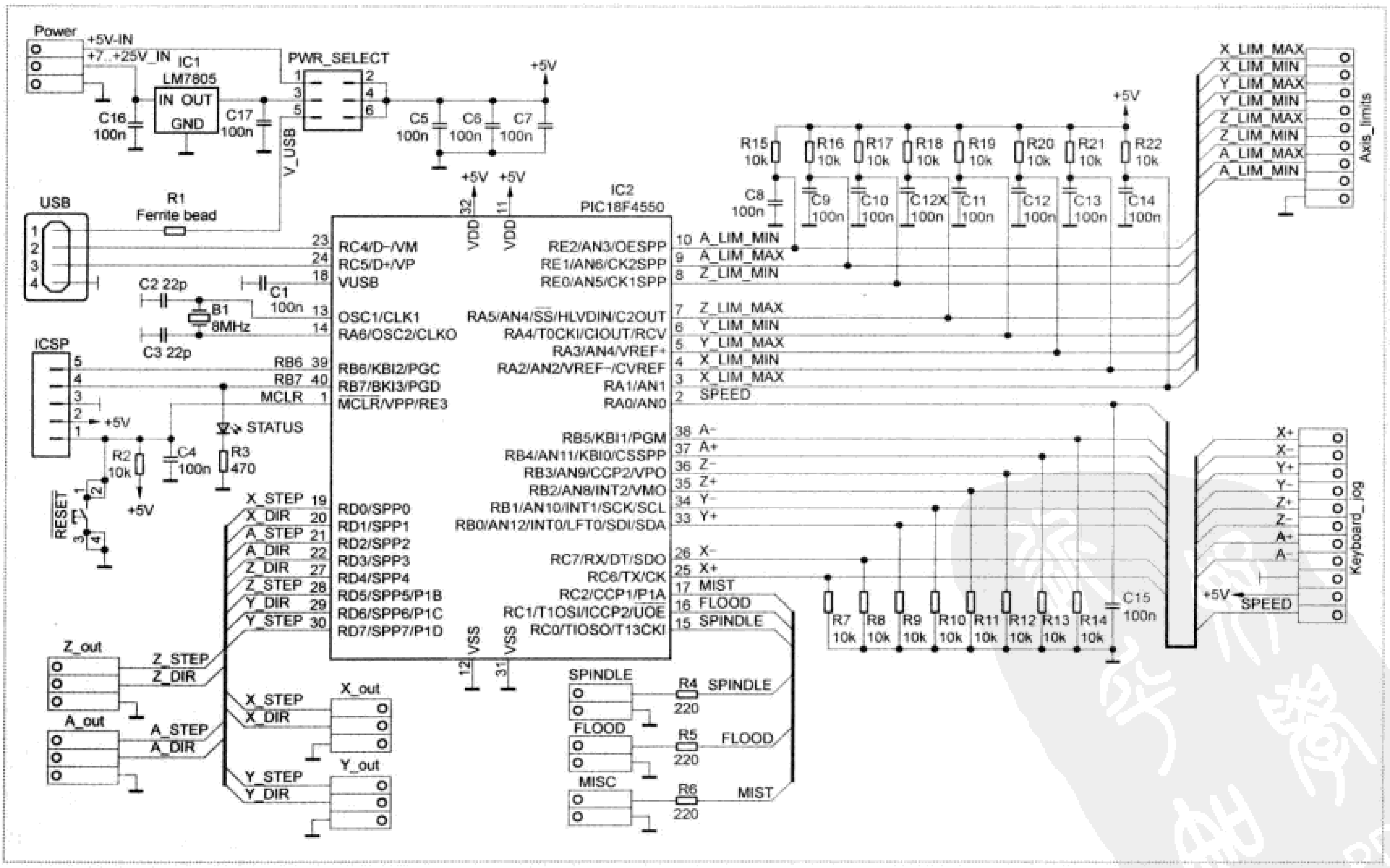


图3 USB口接口板电路

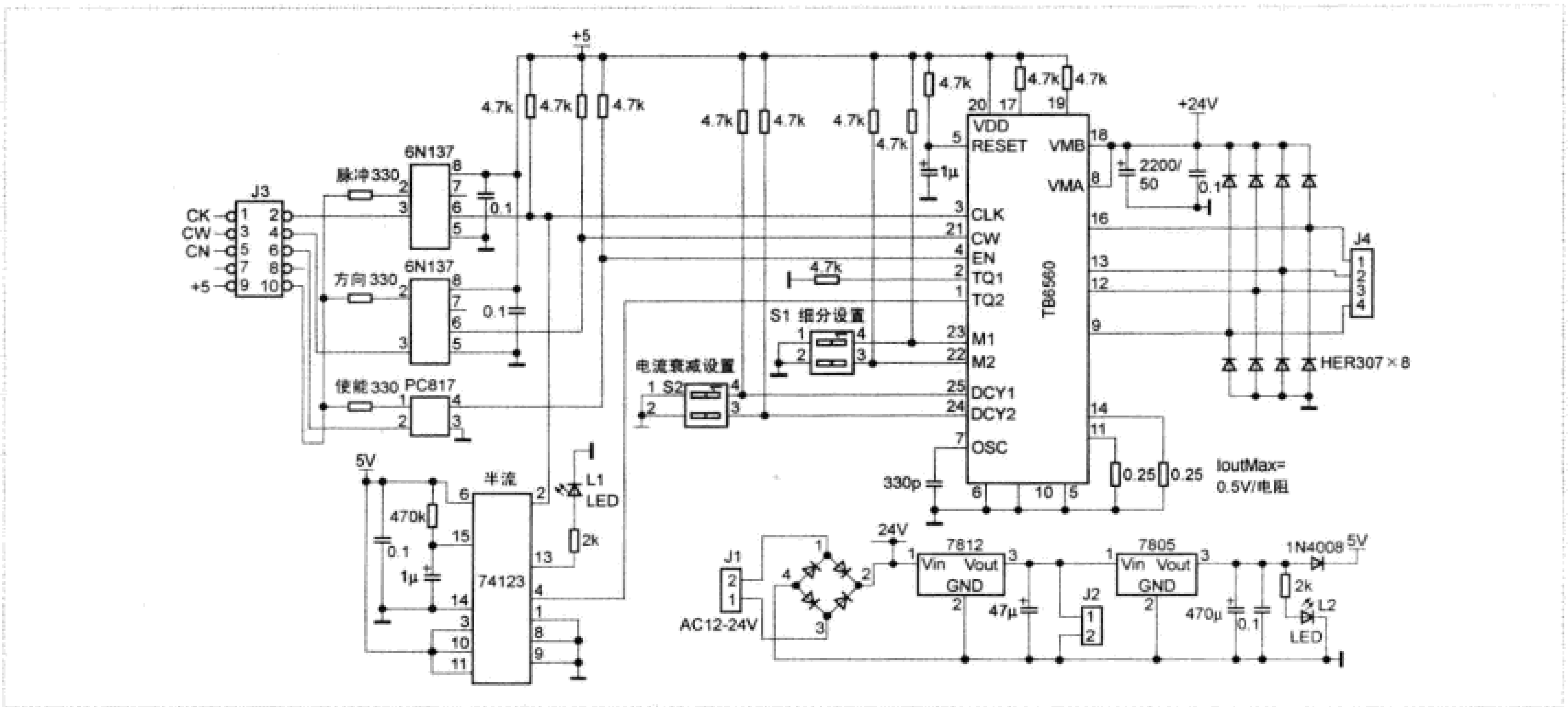


图7 TB6560电机驱动电路原理图

附表　TB6560步进电机驱动电路元件表

名称	型号	数量
驱动芯片	TB6560	1
半流用芯片	74123	1
快速光藕	6N137	2
光耦	PC817	1
稳压集成电路	7812	1
稳压集成电路	7805	1
整流桥	810	1
4位拨码开关		1
6脚排阻	4.7kΩ	1
8脚排阻	4.7kΩ	1
取样电阻	0.5/2W	4
普通电阻	330	3
普通电阻	2kΩ	2
普通电阻	4.7kΩ	1
普通电阻	470kΩ	1
电容	0.1μF	4
电容	330pF	1
电解电容	1μF	2
电解电容	470μF	2
电解电容	2200μF/50V	1
续流管	FR307	8
二极管	1N4007	1
发光管	LED	2
接插件	HT3.96-4P	1
接插件	HT3.96-2P	1
接插件	DC3-10	1
散热器		

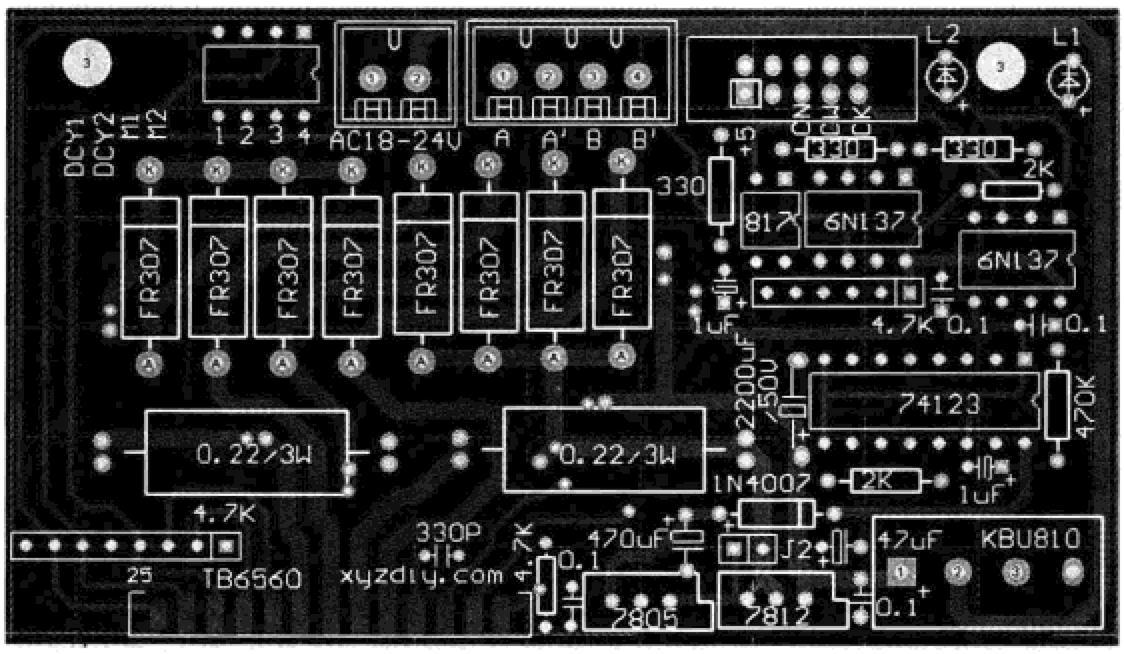


图8 TB6560电机驱动电路PCB

电源

雕刻机的电源很重要。步进电机驱动器电源，可以使用开关电源，也可以使用变压器隔离电源，功率要大，抗干扰性要好，不然电机运行无力，就会出现失步。雕刻机是个很精密的仪器，任何干扰对它都会造成影响，如果出现失步，一个作品可能就报废了，轻则刀具损坏，重则机器撞机，因此有必要安装限位和外部急停按钮。引发这些情况有多种原因，除了机器机械方面的原因外，计算机不稳定、软件损坏、接口板和驱动器不好、主轴变频器干扰都有可能。

这里顺便提一下，特别是工厂设备改装的数控雕刻机，交流接触器一定要加RC阻容灭弧器，直流电磁铁线圈要并联续流二极管，变频器要加电源滤波器，信号线和控制器线路要分开走，计算机机箱和雕刻机外壳的接地要牢靠。只有方方面面都注意到了，机器才能正常运行，才能雕刻出好的作品。

全铝型材雕刻机打造方案 软件篇

◎谭利民

雕刻机软件分为两种，一是生成雕刻代码的软件，一是执行雕刻代码的软件。这样的软件很多，国内、国外都有。生成雕刻代码的软件如国内的精雕、文泰，国外的Artcam、Type3、UG、Mastercam、CopperCAM等，这些软件可以制作广告字、印章、浮雕、模具、PCB，都是很专业的软件，这些软件的使用官方都有详细教程，本文就不多作说明了。本文中，笔者为大家推荐3款很好用的雕刻机软件。

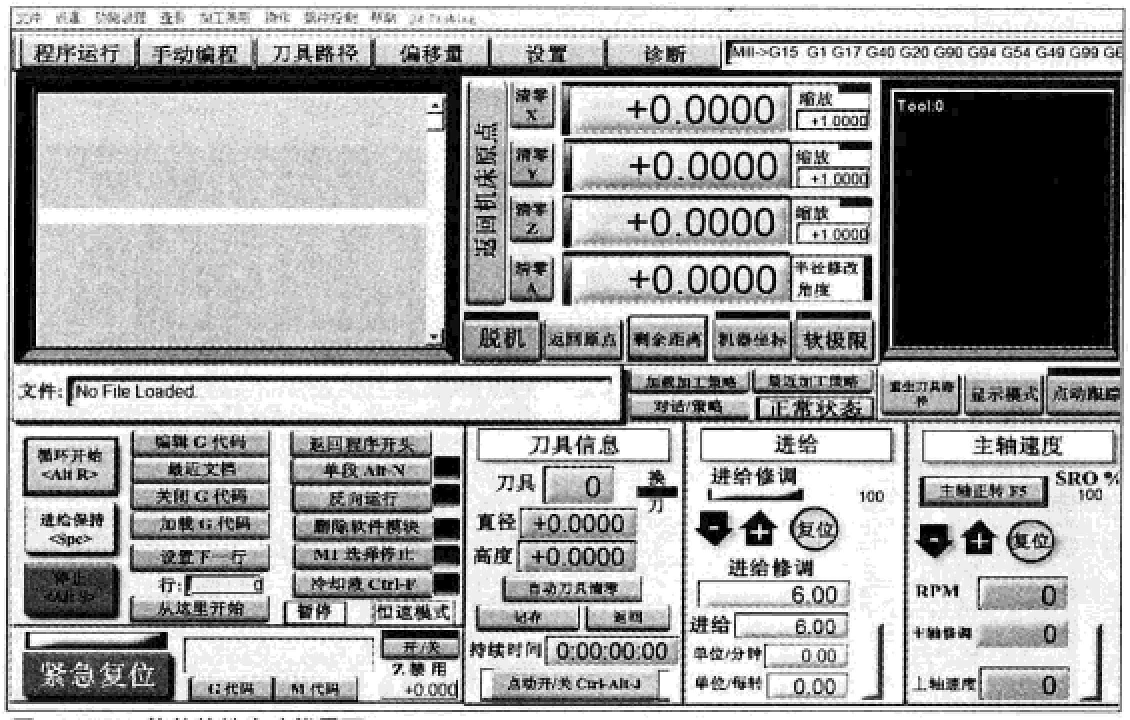


图2 MACH3软件的铣床功能界面

CopperCAM软件

对于电子爱好者来说，制作PCB是经常的事，用雕刻机可以很快捷地做出实物来，笔者曾在《无线电》杂志2007年第5期刊登了《用雕刻机制作电路板》一文，是用Protel 99 生成GERBER文件用于雕刻，方法比较复杂，且设置参数少。后来，经笔者实际使用，发现CopperCAM这款软件（见图1）非常好用，是真正的生成雕刻PCB代码的专业软件，可以很方便地实现单面、双面定位，可以选隔离方式和铣削方式，可以定义刀具，定义钻孔，可以编辑线段和焊盘。这款软件的使用方法大家可以搜索网络去了解，网上有关于此软件的大量文字和视频教材。

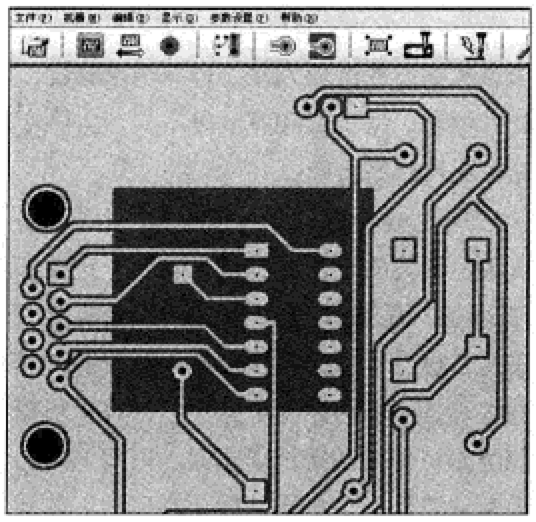


图1 CopperCAM软件界面

MACH3软件

执行雕刻代码的软件也多，业余使用比较多的是 MACH3、KCAM4、USBCNC。这些软件的输出有支持并口的，有支持USB 口的，都在 Windows XP 下运行。

笔者推荐的是MACH3（软件界面见图2），这是一款由美国ArtSoft公司开发的以Windows为平台的数控软件，软件使用计算机的LPT端口作为CNC设备的输入

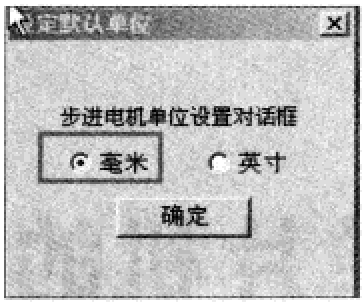


图3 在MACH3中设置单位

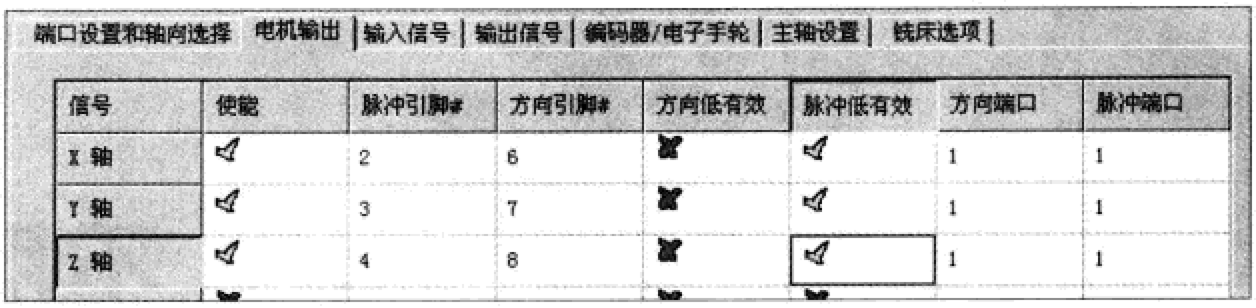


图4 在MACH3中设置电机脉冲和方向端口

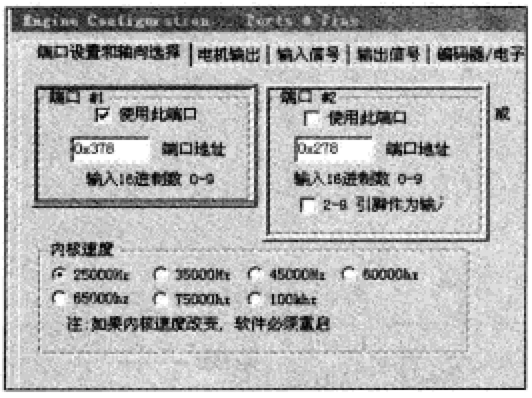


图5 在MACH3中设置电机毫米脉冲数和电机速度

与输出口，输出脉冲与方向信号控制步进电机或伺服电机驱动器，从而实现对数控设备的控制。该软件支持所有国际标准G代码，最多控制6轴，能实现复杂零件的高精度加工，广泛应用在数控车床、模具雕刻机、木工机床、激光打标机、等离子切割机、火焰切割机、车床、木材刨花机、激光切割机、滚齿机、齿轮加工等设备上。

这款软件的强大功能只用一台有512M内存、安装了XP系统的计算机就可以实现了。使用在我们的小雕刻机上，绰绰有余。我用这款软件先后改造了6台旧设备，运行两年了，非常稳定，完全可以满足加工的要求。这款软件的设置见图3～图5。

软件的端口设置应该与自己使用的接口板定义一致，脉冲单位毫米数与雕刻机的丝杆螺距、步进电机驱动器细分数、步进电机的步距角等有关，设置不正确，雕刻的物品就不是同比例的。步进电机速度设置要遵循步进电机特性的升降曲线，这样机器运行才不会失步。设置的最快速度不能超过步进电机的最高频率，但速度设置慢了又会影响到机器运行效率，所以要进行多次调整。确认驱动器控制线连接正确后，运行软件的手动按钮，步进电机就可以运转了。

MACH3是个功能非常多的软件，可以自己修改界面，可以使用VB写代码，控制更复杂的动作，扩展性很广，不少网友通过这款软件的帮助，制作成功了大型数控铣、等离子切割机、机械手、自动冲床等。

USBCNC软件

现在计算机的并口越来越少，USB口成为了主角，因此，笔者再为大家介绍一款USBCNC软件，这款软件的接口板电路和单片机固件都开源，有了接口板就可以使用USB口控制雕刻机了。

USBCNC软件可以控制4个轴，可以控制3个继电器，用来控制主轴和水泵，有手动和限位接口，使用标准的G代码，可以导入DXF格式文件、 图片文件、文本文件，可自动生成雕刻代码。

USBCNC软件界面如图6所示。

图6 USB CNC软件界面

大家都是爱好者，今天制作了小雕刻机，明天就可以改大数控了，学模具的学生可以用机器在家实习，搞创作的可以用机器雕刻作品。身为爱好者的家长可以与小孩共同使用机器，从小培养兴趣，动手又动脑。因此，小雕刻机是老少皆宜、学之有用的机器。再与大家分享一下我用雕刻机完成的另一个作品吧。

图7 我的的另一个雕刻作品

◎杨凯新

不用单片机的贴片式数字温度计

初夏即至，天气渐热，看完《无线电》杂志2011年第1期杜洋的《制作RT3电子温度计》一文，我突发奇想，为什么不DIY一个自己设计的电子温度计呢？乐趣、实用，一举两得，还可以多做几个送给朋友，寓意“天气常变化，朋友知冷暖”。

行胜于言，我设想了两种方案：第一种基于DS18B20温度传感器和单片机，第二种基于LM35温度传感器和双斜积分A/D转换芯片。为了充分利用手上已有的资源，我决定采用第二种方案。

A/D芯片选用了ICL7107。ICL7107是一个双斜积分的三位半A/D转换器，它的孪生兄弟ICL7106被大量应用在常用的手动量程三位半数字万用表中。ICL7106/7107仅有小于一个字的非线性误差和小于1μV/℃的低温漂。二者的不同之处在于：ICL7107可以直接驱动LED，而7106可以直接驱动LCD；7106适合用9V层叠电池供电，7107则适合在5V单电源配合负压发生器下工作。5V电源无论是从电脑USB接口还是手机充电器上都可以十分方便地获得，并且利用数码管显示温度更直观，便于观察。基于这些原因，我选用了ICL7107。

ICL7107的外围设计，我采用了其数据文档中推荐的典型电路。由于原电路是针对抑制60Hz交流电干扰而设计的，而我国工频交流电频率为50Hz，故其中部分元件参数需要重新计算并更改。原电路如图1所示。

图1中，ICL7107的38～40引脚及其外接的电阻电容为系统时钟振荡器，振荡频率$f=0.45/RC$，当$f=40kHz$时，对50Hz工频交流电干扰抑制较好，同时AD转换的速率也较为合适。

ICL7107的33～34引脚外接电容为参考电容，容量为0.1μF。当满量程为200mV时，27脚外接积分电容容量选0.22μF较为合适，28脚外接积分电阻，阻值为47kΩ，29脚外接自动校零电容，推荐值为0.47μF。为保证线性及准确度，积分电容、参考电容、自动校零电容宜选择损耗值较小的CBB电容。

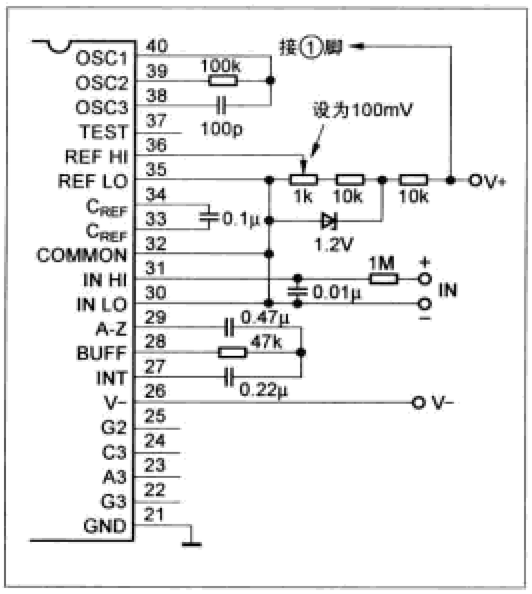


图1 ICL7107外围电路

ICL7107的30～31为输入端，外接RC滤波网络，用以消除外界的高频干扰，稳定读数。

由于ICL7107推动LED工作，故流过芯片内部的电流较大，芯片工作的时候会有一定的温升，片上基准会因此而产生温度漂移，从而造成末尾跳字。因此我的电路中采用了单独的片外基准LM385-1.2，

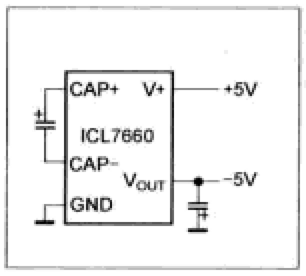


图2 电源电路

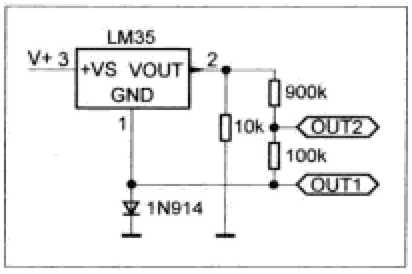


图3 LM35外围电路

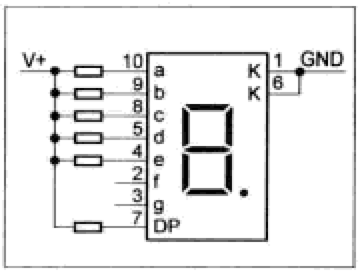


图4 数码管显示“℃”的设置

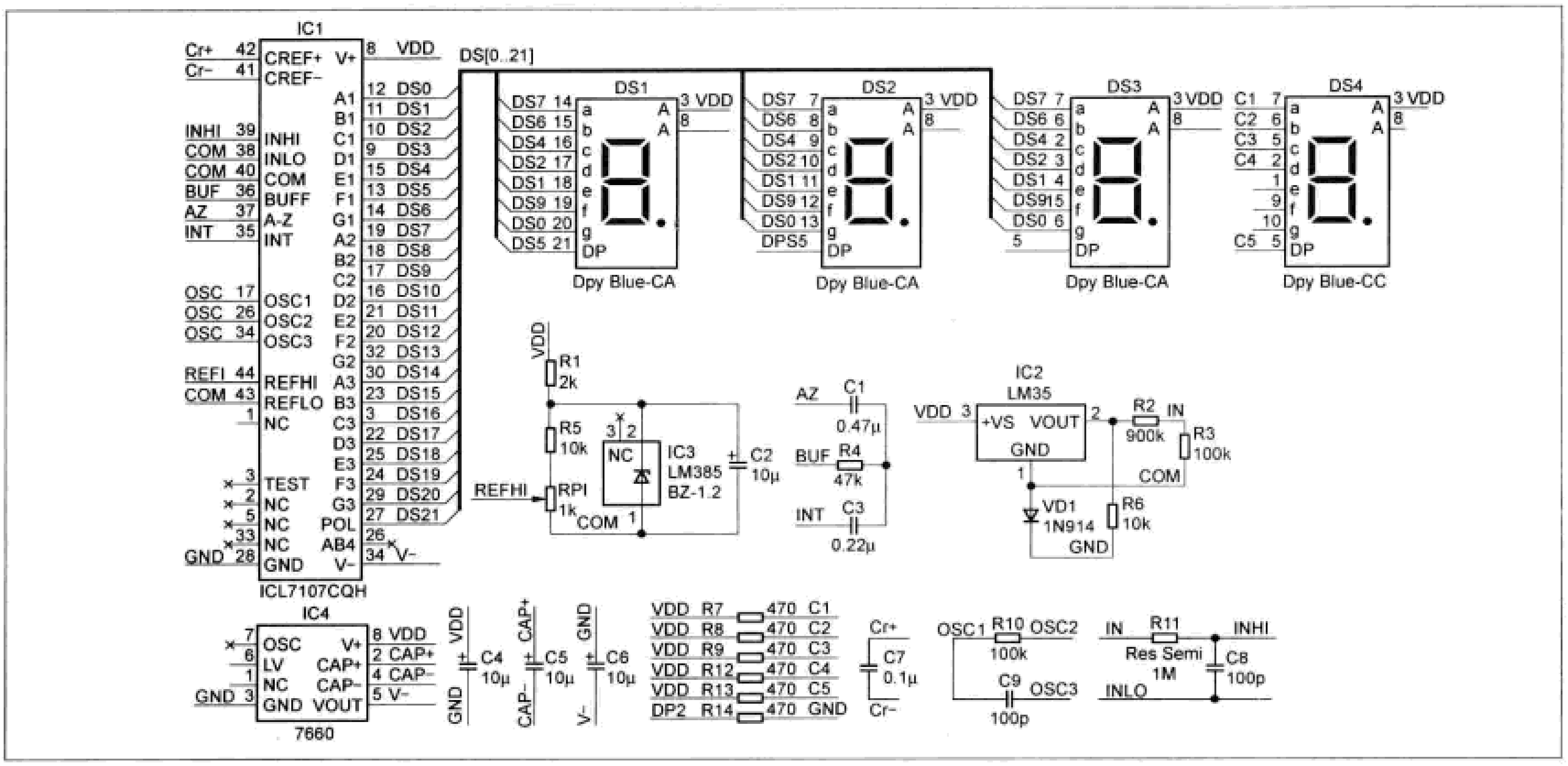


图5 数字温度计完整电路图

它具有20×10^{-6}/℃的低温度系数。

我采用了ICL7660为ICL7107提供-5V电源，电路如图2所示。

这个温度计的传感器采用了集成温度传感器LM35，它具有0.5℃的精度和0.25℃的非线性误差，对于日常生活应用来说已经足够了。

LM35是由NS所生产的温度传感器，其输出电压与摄氏温标呈线性关系，温度每升高1℃，输出电压增加10mV，温度为0℃时输出0V。为了增加零下温度测量功能，我增加了二极管，由它为LM35输出端提供大约500mV的负压。图3所示为LM35的外围电路。

由于ICL7107配置为200mV满量程，当温度超过20℃时，LM35输出电压会超过其量程，因此我又添加了10:1衰减电阻网络电路，以扩大温度测量范围。

为了便于读数，我还设计了“℃”显示功能，即把一位数码管倒置，用小数点显示“° ”，用段位a、b、c、d、e显示“C”，同时取消了用作“1”和“-”显示的数码管，用第一个数码管的小数点

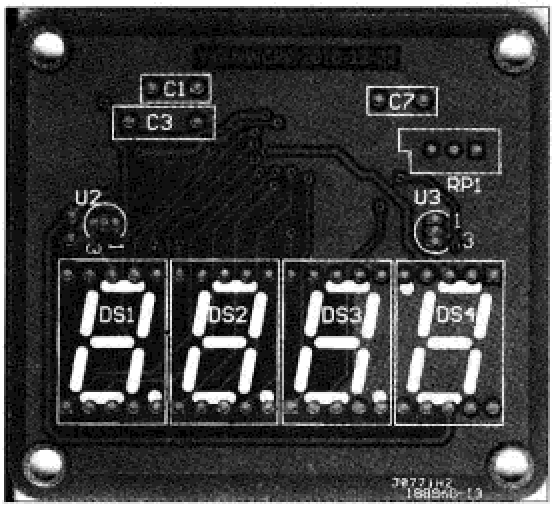
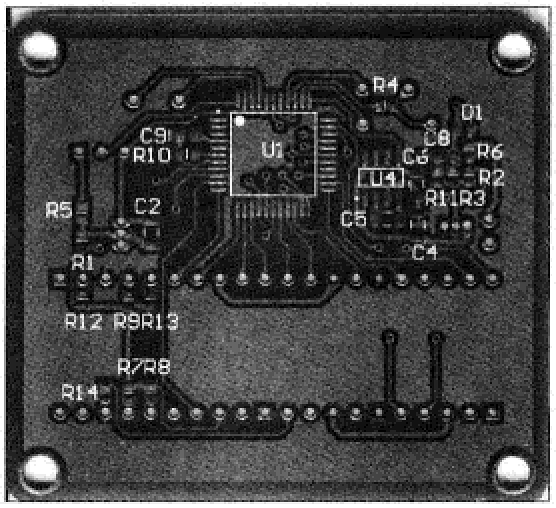


图6 实物PCB正面



实物PCB背面

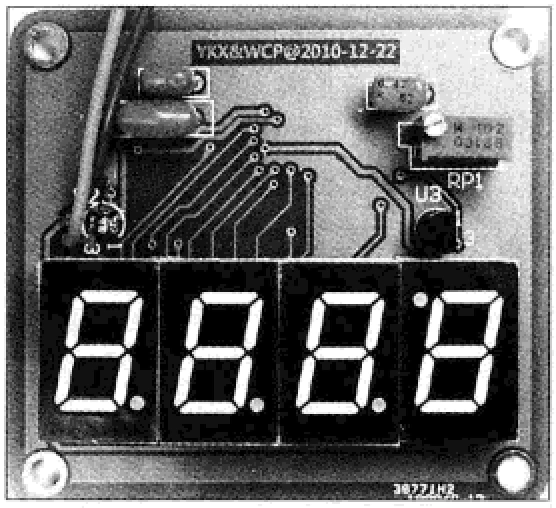
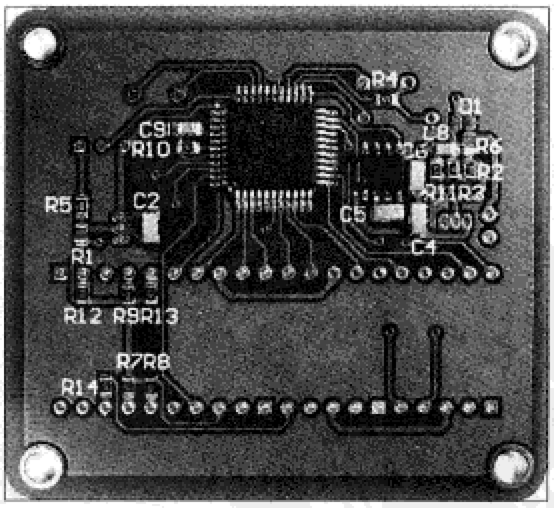


图7 正面焊接完毕



背面元件焊接完毕

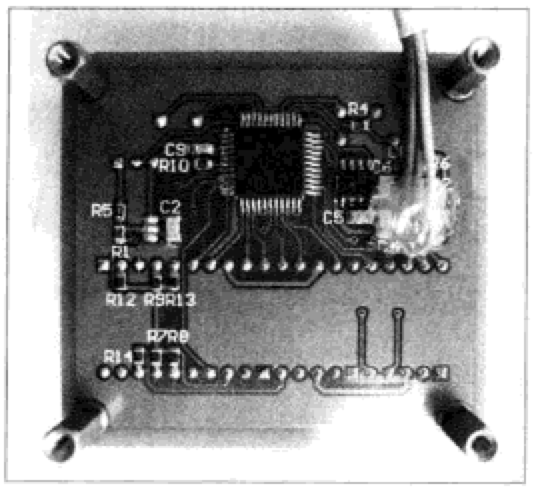


图8 清洗电路板，安装支撑用的铜脚，并对引线进行加固

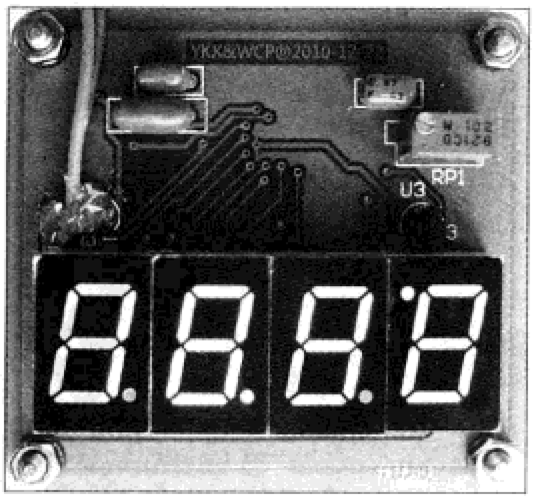


图9 通电试验

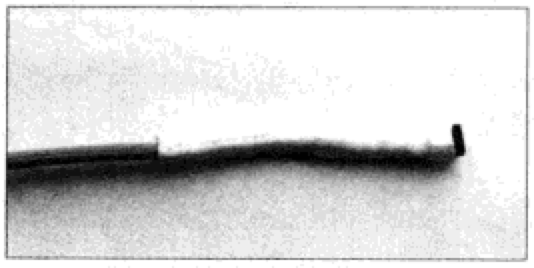


图10 将LM35用杜邦线引出电路板

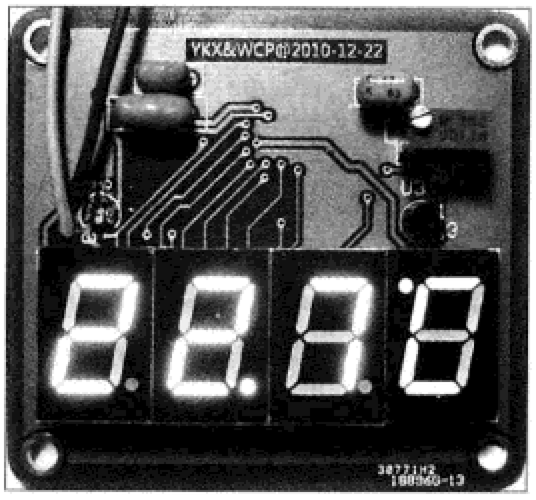


图11 调试完成后的结果

作为“-”显示，见图4。因此，数据转换输出最大值为-999～+999。

这个制作完整的电路如图5所示。实际制作时，本着美观简约的原则，我采用了贴片封装的元件，PCB实物如图6所示。

装配时依次装好ICL7107及其外围电路，焊接好元件的正背面实物如图7所示，并按图8、图9进行安装、调试。

因为ICL7107发热会对LM35造成影响，我将LM35用杜邦线引出电路板（见图10），这样还可以用它很方便地测量物体的温度。

由于LM35不需要校正，因此只需要对ICL7107的参考电压进行校正即可。校正方法如下：将一块四位半或者更高的电压表和PCB上LM35对应的接口同时接到一节干电池两端，调节ICL7107基准电压的电位器，直到ICL7107的示数与标准表的示数一致即可。

注意，切不可采用直接测量ICL7107基准电压的方法。因为ICL7107的基准电压是高内阻电压源，受测量表内阻的影响，基准电压会有一定的降低，因此即使调准了，当测量表离开后，基准电压会有一定的升高，从而造成显示的温度比实际的低，并且由于10:1衰减网络会有一定的误差，这个误差也会被加到显示结果中。调试完成后的结果如图11所示。

数字显示部分的数码管为红色，而℃显示的数码管为绿色，给人耳目一新的感觉，如图12所示。

经过一阵折腾，一个数字温度计终于完工了，配上电源线和USB插头，它就可以工作了。“全家福”如图13所示。

如果LM35通过屏蔽线与PCB连接，则可作为远传式数字温度计使用。例如，将LM35固定在室外，每天早晨不出屋门就可以看到室外的气温，从而根据温度变化适当增减衣物。

这制作完工之后，我又对电路进行了深入思考，以下提出几个改进建议，供

图12 温度显示效果

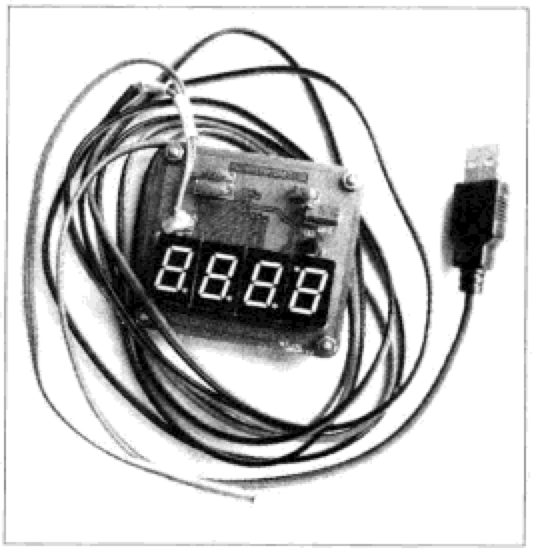


图13 做好的数字温度计“全家福”

读者参考：

改进一：将ICL7107配置在2V量程，省去10:1衰减网络，可减小外界对电路的干扰。

改进二：利用ICL7106改进型——ICL7136配合LCD，可以使电路的工作电流降到200μA，这意味着如果你采用4节5号碱性电池供电，它可以连续工作1年！这一改进符合低碳、环保的原则，甚至可以把它放到温室内或者工业现场，作为实时显示用。

改进三：采用基于DS18B20和单片机的方案，添加温度报警、闹钟、温度控制甚至湿度显示功能。

只要肯动脑动手，创意无限，相信更精致、更简约的电路会应运而生，期待与大家共同交流！

用单荧光数码管制作电子时钟

◎段卫军

一直对荧光数码管特别青睐，那种迷人的光辉让人久久不能忘怀，平常有机会看到中意的荧光数码管都会收藏一点。前些天整理我的仓库，找出一些YS30、YS18荧光数码管，本来想再找些凑数，做一款4位或者6位显示的荧光数码管时钟，可国内、国外在20世纪80年代末期就停止了这种数码管的生产。现在常见的基本上都是平板型的荧光显示器件了。现在能够找到的都是一些工厂的库存或各位电子爱好者手中的收藏了。既然这么珍贵，一次用6只荧光数码管做一个时钟那真是太奢侈了。于是想到用手上仅有的这些，做一个单管的通用时钟板，既可以安装“亭亭玉立”的YS18-3竖管，也可以安装“憨态可掬”的YS30-3立管。我给这个制作取名——“情有独钟”，呵呵，寄托了我对这些古老的荧光数码管的怀旧和痴迷之情！

认识YS30-3、YS18-3荧光数码管

我们请这次制作的主角登场——YS30-3、YS18-3荧光数码管，大家先看看实物，有个感性认识。

这些年代久远的VFD因为都是玻璃管状，而玻璃管的吹制、装配基本靠手工完成，也就决定了找不到2只一模一样的管子，这也恰恰是它的珍贵之处。

YS18-3，顾名思义，竖管的直径是18mm，因为都是人工操作，管的高度在45～50mm，那2根长些的管脚是灯丝的引入脚。图上K代表灯丝管脚，G代表栅极，小写的a~i代表阳极笔段，见图2~图4。YS18-3的详细参数见表1。

YS30-3圆形管的直径是30mm，显示面在管的顶端。图上K代表灯丝管脚，G代表栅极，小写的a~i代表阳极笔段。见图5~图

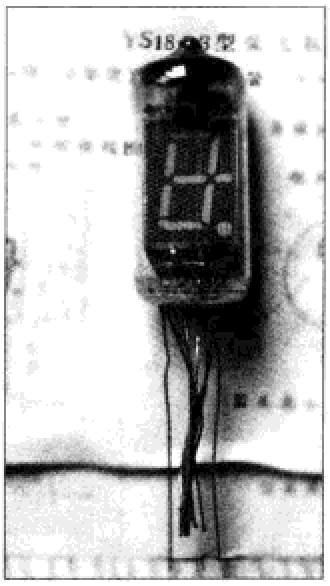


图2 YS18-3实物

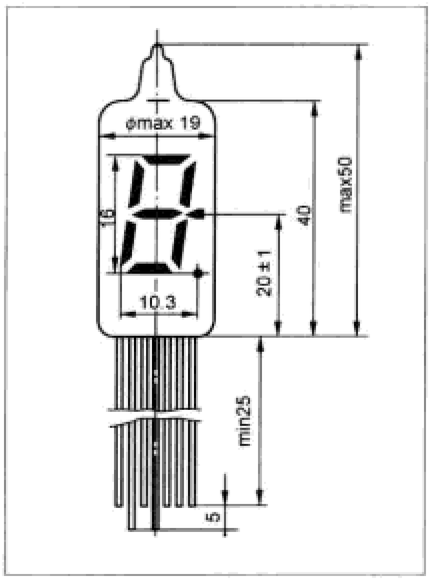


图3 YS18-3外形图

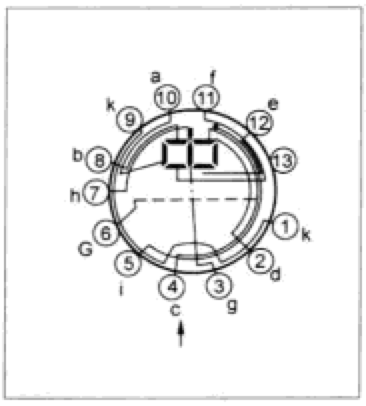


图4 YS18-3电极接线图

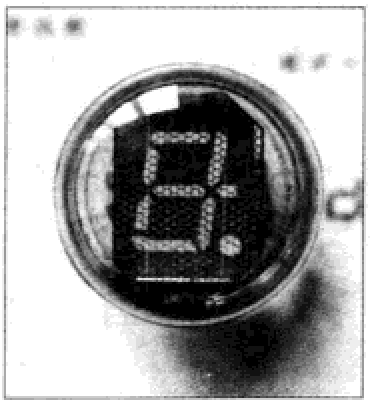


图5 YS30-3实物

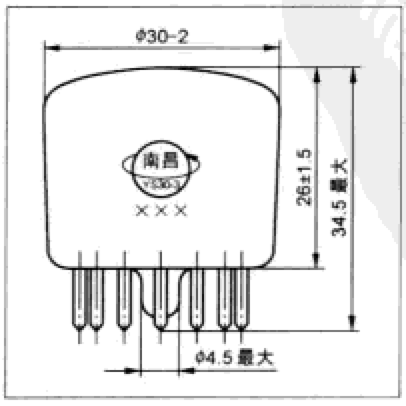


图6 YS30-3外形图

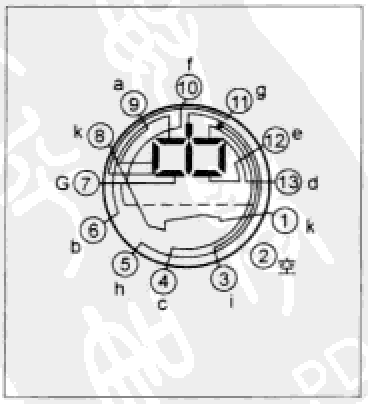


图7 YS30-3电极接线图

7。YS30-3的详细参数见表2。

YS18-3显示字符在竖管的侧面，YS30-3显示字符在圆管的顶端，各有特点，在设计电路时我考虑将这两种管子充分利用起来，这样我们可以根据自己的喜好以及手中现有的管子来进行相应的安装。

电路设计

器件准备就绪，怎么样将它们点亮，按照自己的要求来显示呢？简单点说，就是在灯丝上加上适当的交流或直流电压，然后在栅极加上一个20～30V的直流电压或直流脉冲，再在需要显示的阳极笔段也施加20~30V的直流电压或直流脉冲，就可以点亮

表1 YS18-3详细参数（注：在$L_a+I_g=7$mA时，允许$L_a\leqslant4.5$mA）

参数名称	阳极电压（U_a）		栅极电压（U_g）		灯丝电压（交直流）（U_f）	阳极电流（I_a）	栅极电流（I_g）	灯丝电流（I_f）	栅极截止电压（U_{gJ}）	亮度（B）	寿命（T）	重量（G）
	直流	脉冲	直流	脉冲								
规范	20V	45～60V $D=\frac{1}{10}-\frac{1}{16}$	20V	45～60V $D=\frac{1}{10}-\frac{1}{16}$	1.5V	<3.0mA	<4.0mA	<70mA	<-4V	>270nt	>2000h	11g

表2 YS30-3详细参数

参数名称	阳极电压（U_a）		栅极电压（U_g）		灯丝电压（交直流）（U_f）	阳极电流（I_a）	栅极电流（I_g）	灯丝电流（I_f）	栅极截止电压（U_{gJ}）	亮度（B）	寿命（T）	重量（G）
	直流	脉冲	直流	脉冲								
规范	20V	45～60V $D=\frac{1}{10}-\frac{1}{16}$	20V	45～60V $D=\frac{1}{10}-\frac{1}{16}$	1.2V	≤2.5mA	≤3.5mA	≤80mA	-4V	>270nt	>2000h	13g

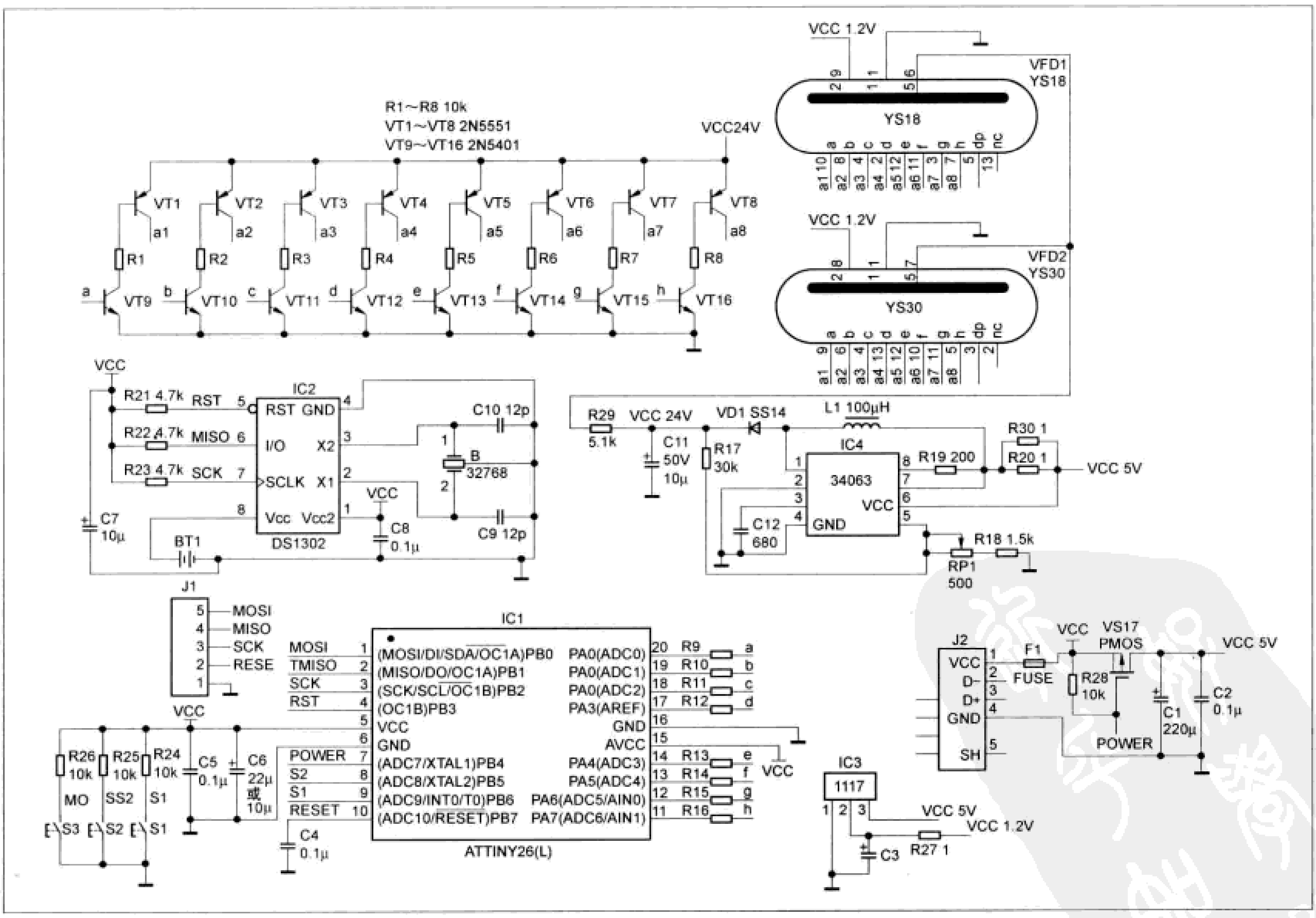


图8 电路原理图

相应的笔段了。

这个时钟的电路原理图见图8。

本制作不算太复杂，8个笔段控制部分占用8个I/O口，实时时钟占用3个I/O口，按键部分占用了3个I/O口，电源控制部分占用了1个I/O口。在资源够用的情况下，我选用了AVR ATTINY26L单片机作为控制用的MCU，预留了编程接口，可以在线烧写程序。

1. 电源供电部分

整个电路由5V直流供电，使用miniUSB接口，电流在100mA左右，这样可以直接使用电脑USB接口或者小型5V 的USB充电器供电。

2. 灯丝供电部分

灯丝供电一般有交流供电和直流供电两种方式。之前的一些老产品，在管子数量达到几个的情况下，一般采用定制交流变压器来达到交流供电的目的。在这个制作里，考虑体积、成本，不太可能找厂家定制专用变压器，加上是单管，不存在管子多了，显示亮度不一致的问题，所以笔者最终采用了稳压直流对灯丝供电的方式。

灯丝电压值的设定对保证显示品质及寿命有重要的影响。如果灯丝电压过高，电流或亮度并不随之增加，反而会因阴极温度上升，加速钨丝芯线上氧化物的蒸发，同时也会污染荧光粉表面，使发光效率及亮度提早下降，而缩短管子寿命。相反，如果灯丝电压过低，因阴极温度下降，便无法获得充分而稳定的热电子发射，致使显示品质劣化或灯丝电压变动而使亮度不稳定。而且，灯丝长时间在低的电压条件下使用，会引起可靠性下降，必须特别注意。因此，灯丝电压应设定在标准值±10%的范围内。在实际使用中，当不知道VFD管的灯丝电压参数时，可以通过稳压电源从低到高慢慢调整灯丝供电电压，使灯丝在黑暗的环境中看上去微红即可。

经实际测试，我使用的南昌牌荧光管的灯丝在使用1.2V直流供电时效果很好。而手头上还有一种不知名的荧光管，在1.5V直流供电时才合适。在这里，我使用了LM1117-1.2V直流稳压芯片给灯丝供电，考虑到可以方便地更换为LM1117-1.5V或者LM1117-1.8V芯片，通过串联的分压电阻R27选择合适的阻值，可以配合使用各种特殊的荧光数码管。

3. 栅极、阳极高压部分

由于灯丝使用直流供电，相应的高压部分可以使用简单的DC-DC变换电路来实现，这里使用最常见的MC34063芯片。目前这个芯片被大量应用，原理我就不多说了。在我的电路里，高压$V=1.25\times(1+R17/(R18+RP1))$，电压值在20～26V范围内可调。

4. 实时时钟部分

虽然制作这个电子钟不是完全为了看时间，但时钟功能是最起码的部分。在这里，我使用了大家比较熟悉的DS1302实时时钟芯片，采用时钟晶体加上匹配电容，备份锂电池，来保证它的准确、可靠，并达到停电计时的目的。

5. 高压驱动部分

前面已经描述过了，只要加上合适的灯丝电压，将栅极以及笔段阳极加上高压就可以点亮相应的部分。在这里，因为只有一个管子，我就直接将栅极接上高压，然后控制阳极的笔段就可以了。MCU不能直接驱动高压部分，电路中采用了NPN+PNP达林顿方式来实现驱动。

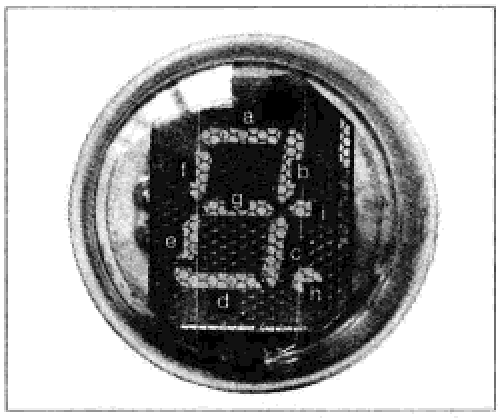


图9 荧光数码管的段位

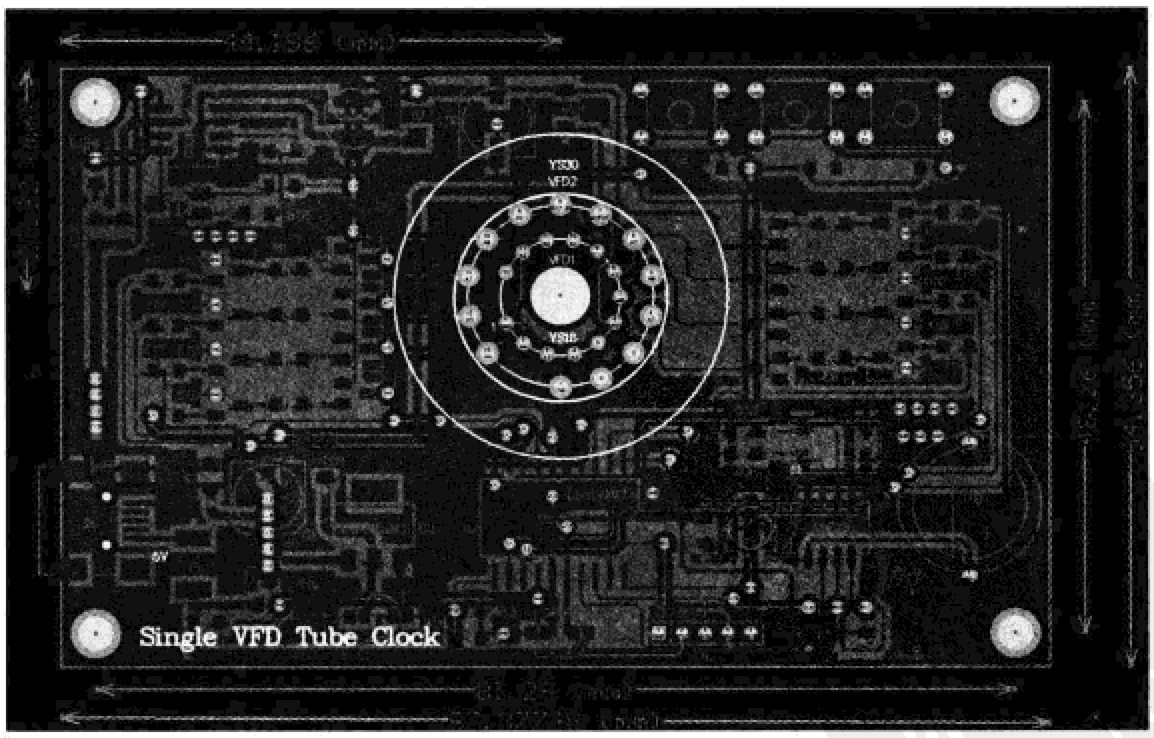


图10 笔者设计的PCB图，大部分采用的是贴片元件

程序设计

这个制作的外围电路已经敲定，接下来就是MCU程序部分了。因为只采用了一个荧光数码管做时钟显示，为了正确显示时间，显示方式就要变通一下了。比如显示HH:MM，就要分4次显示。我是这样规划的：先显示小时的十位，间隔0.5秒显示小时的个位，间隔0.5秒显示分钟的十位，间隔0.5秒显示分钟的个位，再间隔2秒进行下一个循环显示。

电路上设计有3个按键，S1负责时间调整，S2负责关闭开启时钟，S3负责秒调整及归零。按下S3时，程序将秒钟归零，以便准确对时，按下S2时，程序控制VT17 场效应管，将切断灯丝和高压部分的供电，达到节能和延长灯管寿命的目的，在关闭状态下按S2，将启动时钟正常显示。在正常显示状态下，按下S1，时钟会停止在当时显示的那位，再次按下，就可以调整这位的数字，当2秒内没检测到按键按下，时钟恢复到正常显示状态。依照这种方法，就可以分别调整HH:MM的每一位了。

一般8字型LED加上小数点是8段，使用“a、b、c、d、e、f、g、h”来表示，YS18-3和YS30-3都另外多了一段“i”，见图9。

在这个时钟设计里，小数点“h”没用上，而将“i”段用上，这样在显示数字“4”时，看上去会更加合适。比如我们要显示“4”， 只要控制将 “f、g、b、c、i”加上高压就OK了。根据这个原理，10个数字字模就是：0x3F（0）、0x06（1）、

表3 元件清单

元件标号	封装	型号	数量	备注
VT1~VT8	SOT-23	2L	8	PNP 2N5401
VT9~VT16	SOT-23	G1	8	NPN 2N5551
VT17	SOT-23	JP	1	PMOS CPH3314
R1~R8	0805	10kΩ	8	
R9~R16	0805	1kΩ	8	
R17	0805	30kΩ	1	
R18	0805	1.5kΩ	1	
R19	0805	200Ω	1	
R20、R30	0805	1Ω	2	
R21、R22、R23	0805	4.7kΩ	3	
R24、R25、R26、R28	0805	10kΩ	4	
R27	1206	1Ω	1	
R29	1206	5.1kΩ	1	
RP1		500Ω	1	贴片可调电阻
C1		220μF	1	16V电解电容
C2、C4、C5、C8	0805	0.1μF	4	16V
C3、C6、C7		10μF	3	16V电解电容
C11		10μF	1	50V电解电容
C12	0805	680pF	1	
C9、C10	0805	12pF	2	
VD1		SS14	1	肖特基二极管
F1	2512	200mA	1	自恢复保险
B1		32768	1	时钟晶体
J2			1	miniUSB
IC1	SOP20	ATTINY26L	1	
IC2	SOP8	DS1302	1	
IC3	SOT223	LM1117	1	1.2V
IC4	SOP8	MC34063	1	

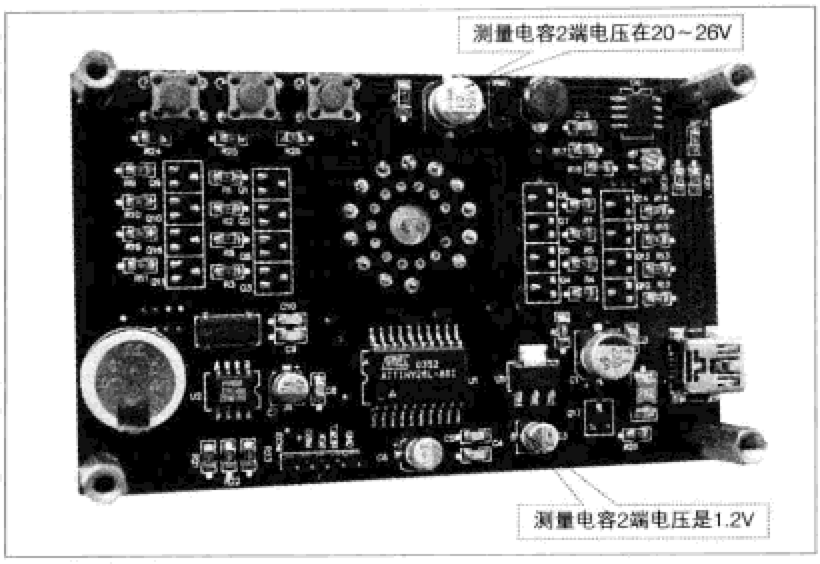


图11 焊接完成的PCB

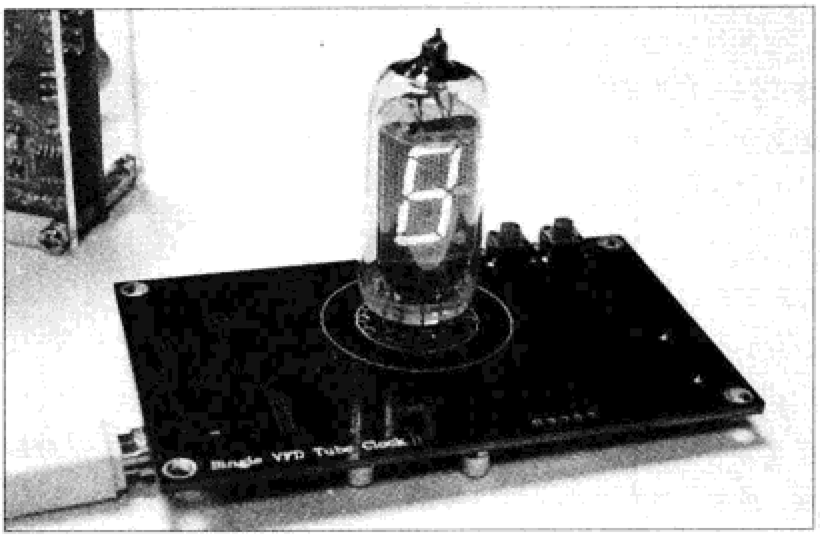


图12 YS18-3的显示效果

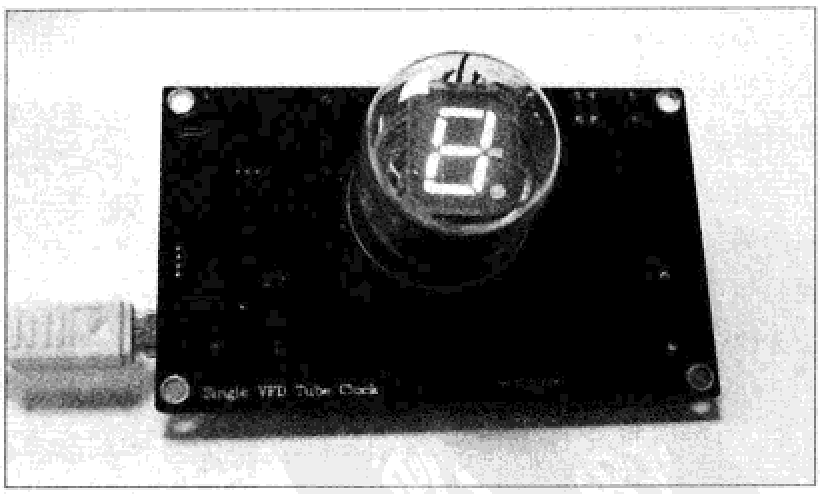


图13 YS30的显示效果

TIPS

什么是VFD

VFD是真空荧光显示屏的英文缩写（Vacuum Fluorescent Display）。它是在1967年由日本伊势电子株式会社以中村先生为首的研究小组发明的，是一种从真空电子管发展而来的显示器件。由发射电子的阴极（直热式，统称灯丝）、加速控制电子流的栅极、玻璃基板上印上电极和荧光粉的阳极、栅网、玻盖构成。它利用电子撞击荧光粉，使荧光粉发光，是一种自身发光显示器件。由于它可以用于多色彩显示，亮度高，又可以用低电压来驱动，非常容易与集成电路配套，所以被广泛应用在家用电器、办公自动化设备、工业仪器仪表及汽车等各种领域中。

发展历程

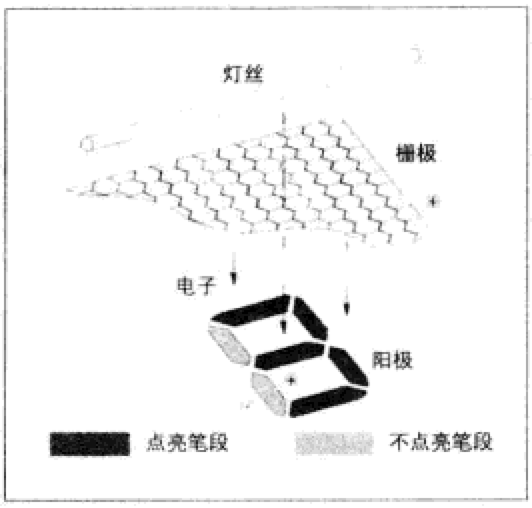
我国最早的VFD是1973年由绍兴电子管厂生产的。经过近40年的发展，其性能不断提高，显示形式从单色圆柱形的数码管显示发展到平板型的多色矩阵图形显示。20世纪90年代初，日本试制成功薄膜栅型VFD，并实现商品化，较好地满足了高信息容量显示的需求，使VFD继续保持旺盛的生命力。

应用领域

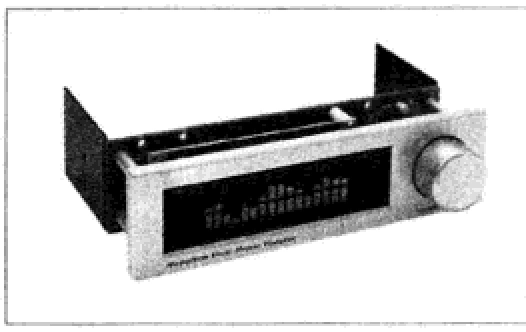
VFD目前广泛应用于家用电器（微波炉、洗衣机等）和音响/视频设备（影碟机、音响、录像机等）民用产品中，还广泛应用于汽车、收银机（包括计税收款机）、电子衡器、仪器仪表及公共显示装置上。VFD所具备的自发光、视角广、辉度亮的显示特性，及工作温度范围宽、寿命长、可靠性高等优点，使之在上述领域难以被其他显示器件所替代。只是，现在新型VFD朝着平板化、点阵化、驱动芯片内置等方向发展了，再也难得看到管状的VFD了。

发光原理

VFD种类虽然繁多，但其基本构造与原理类似：玻璃盖和基板形成一个真空容器，在真空容器内以阴极CATHODE（灯丝FILAMENT）、栅极（GRID）及阳极（ANODE）为基本电极，还有一些其他的辅件（如消气剂等）。灯丝是在不妨碍显示的极细钨丝芯线上，涂覆上钡（Ba）、锶（Sr）、钙（Ca）的氧化物（三元碳酸盐），再以适当的张力安装在灯丝支架（固定端）与弹簧支架（可动端）之间，在两端加上规定的灯丝电压，使阴极温度达到600℃左右而放射热电子。栅极也是在不妨碍显示的原则下，将不锈钢等材料的薄板进行光刻蚀后，形成金属网格，在其上加上正电压，可加速并扩散自灯丝所放射出来的电子，将它导向阳极；反之，如果加上负电压，则能阻拦游向阳极的电子，使阳极消光。阳极是指在形成大致显示图案的石墨等导体上，根据显示图案的形状印刷荧光粉，在其上加上正电压后，因前述栅极的作用而加速，扩散的电子将会互相冲击而激发荧光粉，使之发光。通过改变荧光粉种类，可以获得自红、橙色到蓝色的各种不同颜色。



VFD发光原理图


现代的VFD屏应用

0x5B（2）、0x4F（3）、0xE6（4）、0x6D（5）、0x7D（6）、0x07（7）、0x7F（8）、0x6F（9）。

安装调试

这个制作完整的元件清单见表3。

为了作为纪念收藏，我专门设计制作了PCB，PCB图见图10。实物PCB采用黑色阻焊，视觉上感觉更好。拿到板子按照原理图，将元件对应一一安装即可。在安装过程中要注意几点：

1. 使用防静电烙铁进行焊接，焊接时间尽量短。

2. 对照上面荧光管资料，确保焊接正确。

3. 荧光数码管是玻璃制品，安装和使用过程中尽量避免受到冲击和碰撞。

4. YS30焊接前一定要将管脚处理好，便于焊接，焊接过程尽量快。

5. 焊接完后不得使用超声波清洗，否则可能引起灯丝断落和荧光粉剥落。

6. 使用过程中不要用手触摸荧光管，静电会影响显示，严重时会造成短时不显示。

焊接完毕，清洗后通电，按图11所示检查电压是否正常。如正常，则制作基本大功告成！图12、图13是两种管子制作完成后的实际显示效果。本制作所需PCB文件及程序可到《无线电》杂志网站上下载。

◎任杰

IRS2092试用记
——大功率D类功放制作实战

自去年完成TI公司的TPA3123功放制作后，我继续尝试着使用其他公司的方案制作D类音频功放。有同学问我，为什么总是做功放，一点新意都没有。可我自己并不这样认为，因为每一次的设计与制作都能让我学会一些新的东西，并且对于制作的过程，我是十分享受的，而成功后的那份喜悦更是旁人所无法理解的。

这次制作功放使用的是IR（国际整流器）公司的D类功放驱动芯片IRS2092和音频专用MOS管。首次看到这一方案大约在一年前，方案给出的THD+N是相当低的，甚至超过了绝大多数的AB类功放，并且方案用到的PCB为单面板，这在集成电路D类功放中是极其罕见的，当时即萌生了制作的想法。但因接触D类功放的时间不长，这一方案的实现对我来说比较困难。时隔一年后，当我重新着手这一制作时，就是有备而来了。

电路简介

IRS2092是IR公司的D类音频功放驱动芯片，与IR公司的D类音频专用MOS管配合使用，可以实现大功率（高达500W）、高性能D类音频功放的设计。图1给出的是本次制作的电路原理图，下面根据该原理图，对电路功能作一简单介绍。

从图中可以看出，IRS2092需要两组电源，一组以负电压为参考的+12V电源，送入VCC端，用于MOS管半桥驱动，这里使用了一个7812用作稳压。为了减小7812上的功耗，根据电源电压的大小串接电阻R17。另一组正负对称的电源分别送入VAA和VSS端，用作内部误差放大器电源，芯片内部自带稳压二极管，将VAA与VSS端电压稳定在±5.6V左右。如果使用一对7805和7905稳压后给VAA与VSS供电，可能会有更好的效果，此时内部稳压管不工作。

R1、R2、R10构成反馈电路，决定了功放的电压增益，由于R2影响内部积分时长，也就是说振荡频率会随着R2改变，所以调整电压增益时最好保持R2数值不变，改变R1的数值。此外，R1和C1决定了放大器输入回路的下限截止频率，这也是大家熟知的。按图中参数取值，放大器的电压增益约为14.5V/V，输入回路下限截止频率约5Hz。对于一般的音源，这一电压增益是不够的，而输入电阻R1本来就不算大，不宜通过减小R1的方式来提高电压增益，所以通常情况下，给功放加一级前级电压放大是必要的。

R4、C3、C5的参数决定了芯片内部的振荡频率，IRS2092支持振荡频率在几十千赫兹到800kHz之间。对于D类音频功放，这一频率不小于音频的10倍，如果以音频最高频率计算，即不小于200kHz。频率越高，流过电感的高次谐波电流越小，但是MOS管的开关损耗以及电感的磁芯损耗也会随之增加，所以调制频率需要折中考虑。IR公司设计指南推荐的调制频率为400kHz左右。

R13、R14用于半桥低边MOS管的过流保护设置，R15、R16用于MOS管的死区时间设置，这些参数的设置需要考虑电路的电源电压、所选的MOS管型号以及调制频率等因素，具体的计算方法可以参照IRS2092设计指南的详细说明。

输出级电路采用的是半桥式的驱动方式，要求电源为正负对称的形式，但和全桥的方式相比，解调（或者叫滤波）电感和电容的数量减少了一半，这使得成本（特别是电感）相对降低。另外，由于工作时只有一个MOS管导通，MOS管的上损耗也减小了一半，所以效率较全桥形式有所提高。

元器件选择

本次制作用到的元器件种类规格较多，附表为本次制作的元器件清单。需要引起注意的是，我所用的开关电源电压为±30V，表中的元件参数也是在这一条件

下给出的，如果电源电压提高，多项参数也需要改变。

首先是C12、C13这两个主滤波电容的耐压要高于电源电压，这一点相信大家都会注意到。如果电源电压改变，R3、R12与R17的阻值和功率也要根据计算做出相应变化。R3、R12上的电压为电源电压V+减去5.6V，流过R3、R12的电流约10mA，由此不难估算出其阻值与功率。R17一方面可以减少7812上的功耗，使7812免去对散热器的需求，另一方面可以分去部分电压，避免7812因输入电压过高而损坏。IR公司评估板上使用的是晶体管加稳压二极管组成的串联稳压电路，这种方式不需要考虑输入过压的问题，但调整管需要加散热器。

然后关注一下后级的半桥电路IRFI4019。该器件内部集成了两个相同的N沟道音频专用MOS管，这种MOS管是快速恢复型的，响应速度远远高于普通的MOS管，用于高速开关的D类功放中，大大减小了MOS管的开关损耗，提高了效率。当然，这里也可以使用其他型号的音频专用MOS管，如IR公司的DirectFET系列，但本制作为单面PCB，不宜采用。

接下来说到D类音频功放中最重要的器件——输出滤波电感和电容。首先在参数方面，按图中的参数取值，4Ω负载下的带宽（-1dB）约25kHz，但在8Ω时变化到50kHz。如果要增加带宽，可以适当改变L1与C9的参数，L1可以减小到10μH。最后我选择了10μH 的电感和0.68μF的电容，4Ω负载下的带宽约30kHz，8Ω时约22kHz（Multisim10仿真结果）。在介质材料的选择方面，有机薄膜电容适合于用作输出滤波电容，这里选用耐压为250V的WIMA电容。电感磁芯的选取是至关重要的，本次制作经过测试验证，最终找到了比较合适的磁芯材料，详细过程将在后文提到。

最后提到二极管和电解电容。图中VD2为高速开关二极管，要求耐压大于

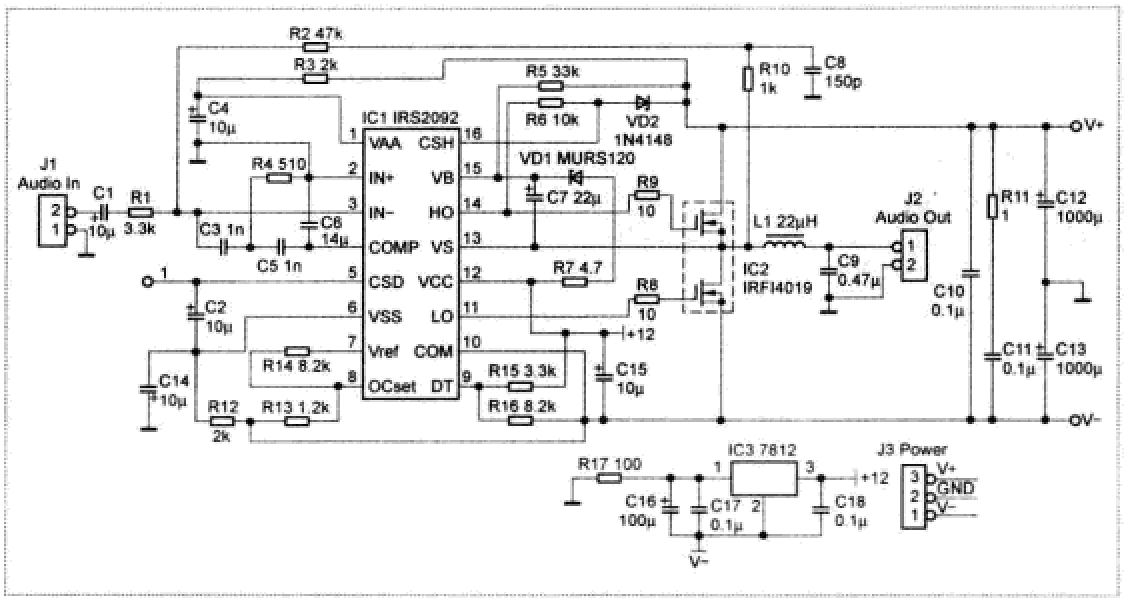


图1 IRS2092应用原理图

2V+，并具有满足开关频率的要求，评估板上推荐的型号BAV19WS不好买，这里使用了常见的1N4148代替。查阅手册可知，耐压和开关速度方面，1N4148完全符合要求。C7的耐压只需要高于VCC端相对于V-的电压即可，并且最好选用漏电较小的优质铝电解电容或者钽电解电容，其余10μF 的电解电容均为nichicon公司的音频专用电容，用作电源退耦和音频耦合。

PCB的设计

和以往全集成化D类功放的制作不一样，IRS2092+MOSFET的结构引脚间距较大，元器件密度较小，加上IRS2092优秀的抗干扰性能，所以单面板即可满足设计的要求，但是这并不意味着减小了设计的难度。为了抑制底噪、减小辐射以及满足大电流下对线宽的要求，PCB的设计也是丝毫不能马虎的。

首先是参考平面的设置问题。根据图1，可以把整个电路分为3个不同的参考地平面，即模拟地（小信号地）、功率地（大信号地）以及驱动级参考地（即负电源V-）。所以在PCB的设计时，可以按照这一原则划分地平面，不能简单地采用单一地平面的形式进行敷铜，这样可能会形成地环路，引入噪声。

其次是元器件的布局和线宽的设置问题。对于电流较小的输入级和驱动级部分，可以相对密集地摆放各个元器件，特别是退耦电容、自举电容以及与振荡频率相关的器件，尽量靠近芯片引脚放置。而对于输出级，为了确保MOS管良好的散热以及铜箔能够承受足够的电流，应当适当减小元器件分布密度，并加粗输出和电源的走线宽度。

图2所示的是PCB布线图，整个PCB

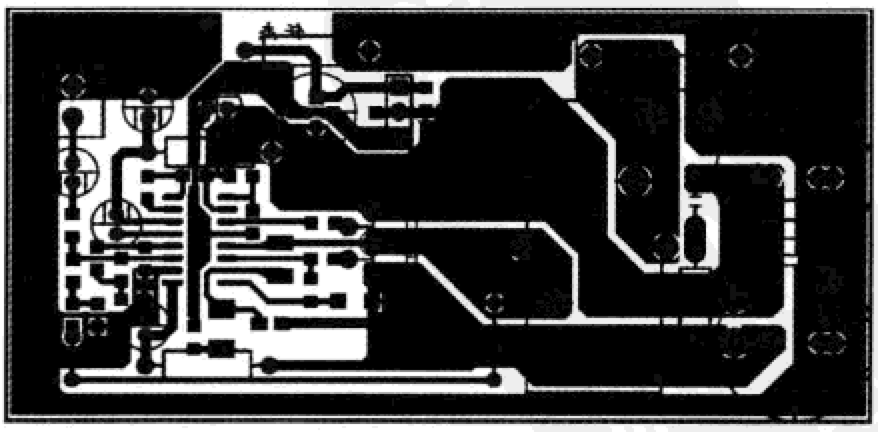


图2 PCB布局布线图

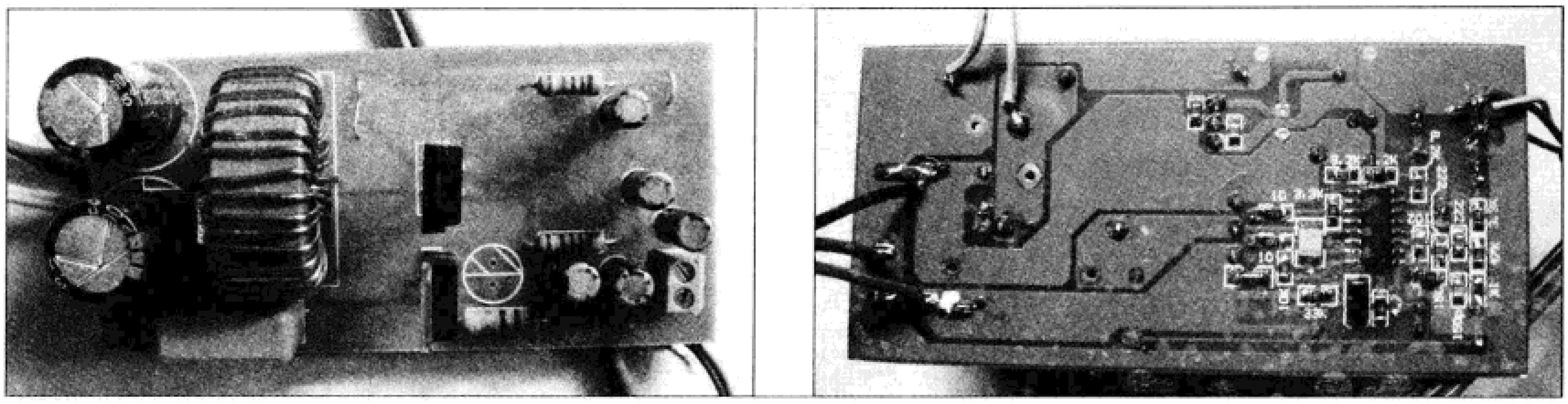


图3 焊接完成的PCB实物图

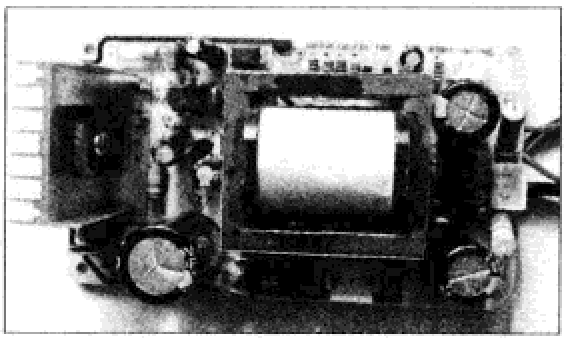


图4 使用的开关电源模块实物图

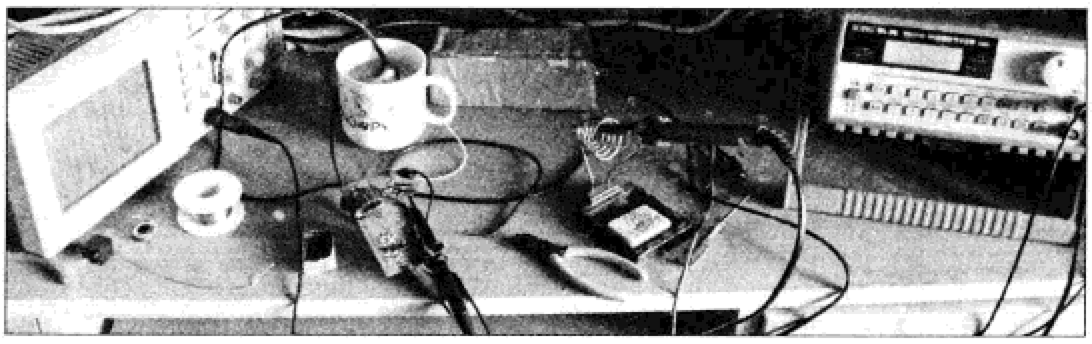


图5 略显凌乱的测试现场

使用了两条飞线（反馈线），模拟地和功率地分别接到各自的地平面后，再通过一条线连接到一起。这个PCB文件可到《无线电》网站上下载。

测试评估

图3所示的是焊接完成的PCB实物图，器件的参数以附表所示为准，其中C16没有焊接，R7为两个10Ω电阻并联，焊接时应特别注意两个管的极性。

焊接完成并检查无误后，即可通电测试。本次使用的是输出±30V、号称功率达到150W的开关电源模块，实物如图4所示。从图中可以看出，电路比较简单，性能也有待评估，但用来测试一个通道的功放应该还是能够满足要求的。图5所示的是测试实拍（桌面比较凌乱），测试所用的负载为两个15Ω/20W的水泥电阻并联。为了避免大功率下过热损坏，我将电阻浸入冷水中，这是从网上学来的水泡电阻法。注意，为了避免不纯净的水影响负载阻值，要将电阻的引线一端置于水面以上（见图6）。整个测试在室温约20℃条件下进行，IRFI4019和7812均未使用散热器。

附表 元器件清单

元件代号	元件类型	元件参数	元件封装
C1、C2、C4、C14、C15	铝电解电容	10μF/50V	径向直插
C12、C13		1000μF/35V	
C16		100μF/50V	
C7	钽电解电容	22μF/16V	2012
C3、C5、C6	陶瓷电容	1nF/100V	0805
C8		150pF/100V	
C17、C18		0.1μF/50V	
C10、C11	CBB电容	0.1μF/100V	直插
C9		0.68μF/250V	
R1、R2、R4、R5、R6、R7、R8、R9、R10、R13、R14、R15、R16	电阻	见图1	0805
R3、R12		2KΩ/0.5W	直插
R11		1Ω/0.5W	
R17		100Ω/1W	
VD1	肖特基二极管	MURS120	贴片
VD2	开关二极管	1N4148	柱状贴片
L1	电感	10μH	/
IC1	集成电路	IRS2092S	SO-16
IC2	双MOS管	IRFI4019H-117P	TO-220
IC3	集成电路	LM7812	TO-220

通电后，将输入短路，用示波器测芯片VS引脚上的波形，正常情况下应该是一个理想的方波，调整R4、C3、C5的参数即可改变方波的频率，注意应满足*C*3=*C*5。按图1的取值，方波频率在360kHz左右，波形见图7。接下来用万用表的毫伏挡位测输出端对地的直流电压，实测得输出失调电压小于1mV，这一参数小于我所见过的其他功放。

接下来进行我最感兴趣的测试——不同磁芯电感的性能。由于条件限制，我只考察了各电感在高频脉冲下的发热量。图8所示为本次测试所用到的几种电

感类型。第一个是IRS2092评估板上用到的进口电感，我们对它的性能没有丝毫质疑，但是价格比较昂贵，我在网上买了一个，花了15元。第二个和第三个电感使用的是同一种材料的磁环，只是尺寸不同，这种磁环被涂成红色和灰色，材料是超细铁粉。有网友说，这种磁环可以用作D类功放的滤波电感，我看到的TI公司的TAS5630功放图片好像也是用的这种磁环。第四个和第五个是我们常见的“黄白”环和“绿”环，材料分别为铁粉和铁氧体。图中除了第一个电感量为22μH外，其余实测电感量均为10μH。另外对于第二个和第三个电感，由于磁芯材料一样，所以在未达到饱和的情况下，性能应该是差不多的，只是尺寸大的应该有更大的饱和电流。下面开始我们的测试。

接通电源后，首先接上图8所示的第一种电感，输入1kHz的正弦波信号。逐渐增大输入信号幅度，当幅度大于3Vpp时，输出正弦波开始出现明显失真。将输入信号保持在3Vpp，输出信号波形如图9所示（图中信号的平顶并非饱和失真，而是受示波器显示范围的限制），此时的输出信号达到50Vpp，这一数值将会与后面数值产生鲜明对比。工作一段时间（大约20分钟）后，水杯中的水已经被加热到烫手了，用手摸电感，感觉不到明显的温升，显然，这种专用的电感性能相当优秀。

然后换上图8所示的第二个和第三个电感，输出信号幅度也保持在50Vpp，同样工作20分钟左右后，一杯冷水被加热到烫手，电感的温度也都只是温暖的感觉，可见这种“红灰”磁环用作D类功放的输出电感也是比较合适的。

再换上图8中第四种的“黄白”环电感，在相同输入（1kHz/3Vpp正弦波）的情况下，示波器显示负载上的信号幅度由原来的50Vpp骤降到40Vpp（如图10所示），用手摸电感，可以感觉到温度逐渐升高，不出一分钟，电感就变得烫手。不难看出，这种用于低频场合的铁粉磁环是

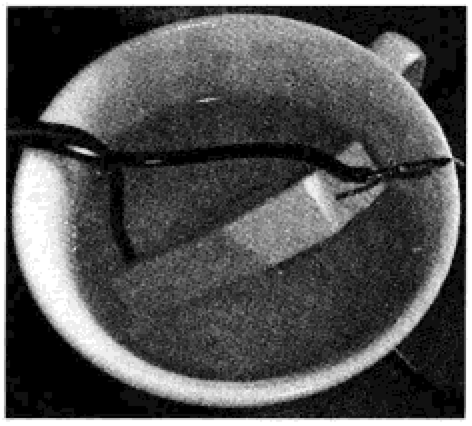


图6 水泡电阻法

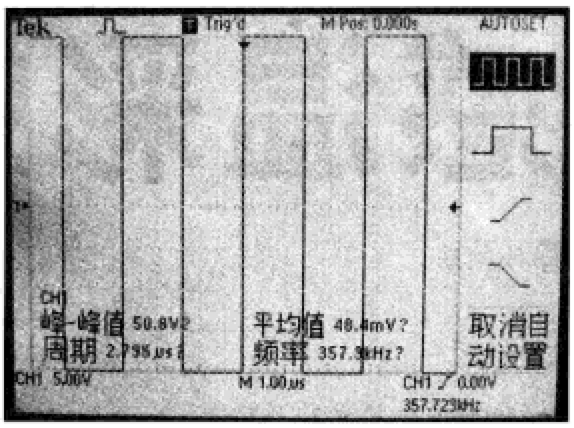


图7 VS引脚上的波形

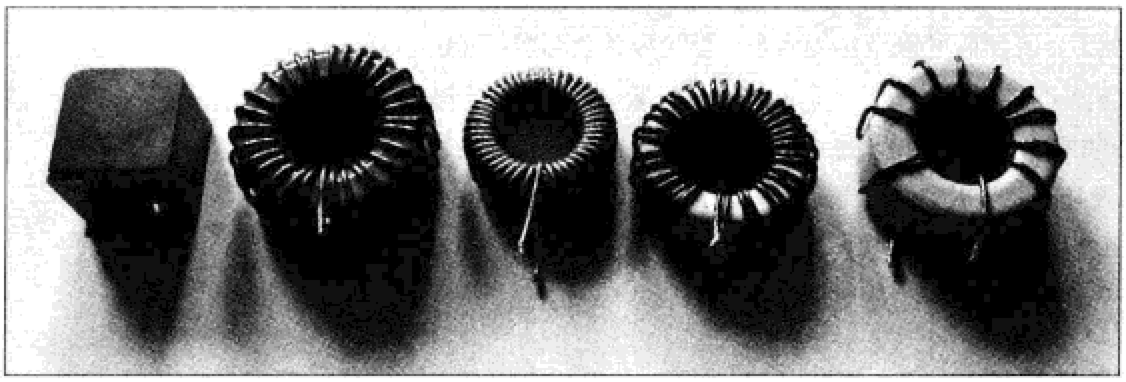


图8 测试用到的电感

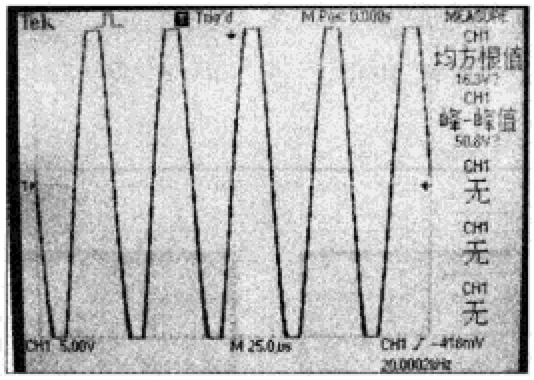


图9 输入1kHz/3Vpp正弦波时的输出波形（专用电感）

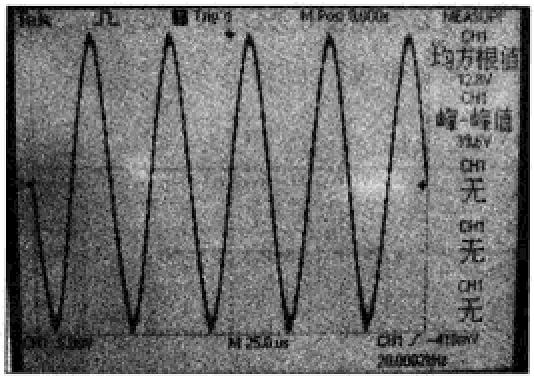


图10 输入1kHz/3Vpp正弦波时的输出波形（“黄白”环电感）

不能用作D类功放滤波电感的。

接下来测试图8所示的最后一种电感，输入1kHz/3Vpp正弦波，负载上的信号幅度比50Vpp略有下降，电感温度缓慢上升，长时间工作（大约10分钟）后，开始烫手。总的来说，这种铁氧体材料的磁芯用作D类功放滤波电感同样存在磁芯损耗过大的问题，特别在大电流的情况下，发热量变得不可忽视。

最后，我想起了上次制作时用到的铁硅铝磁环，从TAP3123功放上拆下一个后，用于本次的测试电路中。最后的实验结果让我非常失望，铁硅铝磁芯的发热量虽不及“黄白”环大，但短短的几分钟就变得烫手了。看来之前介绍的那款用TAP3123制作的功放，在这一点的设计上其实是不合理的。当时光顾着试听音乐，全然忽略了电感在当时30多度的室温下已经热得发烫。

以上的测试中，输出功率可由$P=U^2/2R$计算出来，大约为40W。IRFI4019在不使用散热器的情况下，感觉不到明显的温升。另外，由于整个测试过程中通过负载的电流不算太大，大约为

感温彩虹杯垫

◎孙德庆

有一位波兰爱好者制作了一款感温LED杯垫（http://diy.elektroda.eu/interaktywna-podstawka-pod-kufel/），如图1所示。这款杯垫可以感知杯中的饮料温度，并根据温度驱动板上的LED，发出暖色或冷色的光芒。这个设计创意得到了很多电子爱好者的关注。但是笔者个人认为，原版的设计存在一些可以改进的地方。比如，由于温度测定不需要精确，温度传感器不必使用独立芯片，片内二极管测温即可。另外，原设计中的LED采用并联结构，不能够独立控制颜色，尚有改进余地，于是我设计了这一款改进型的感温彩虹杯垫。

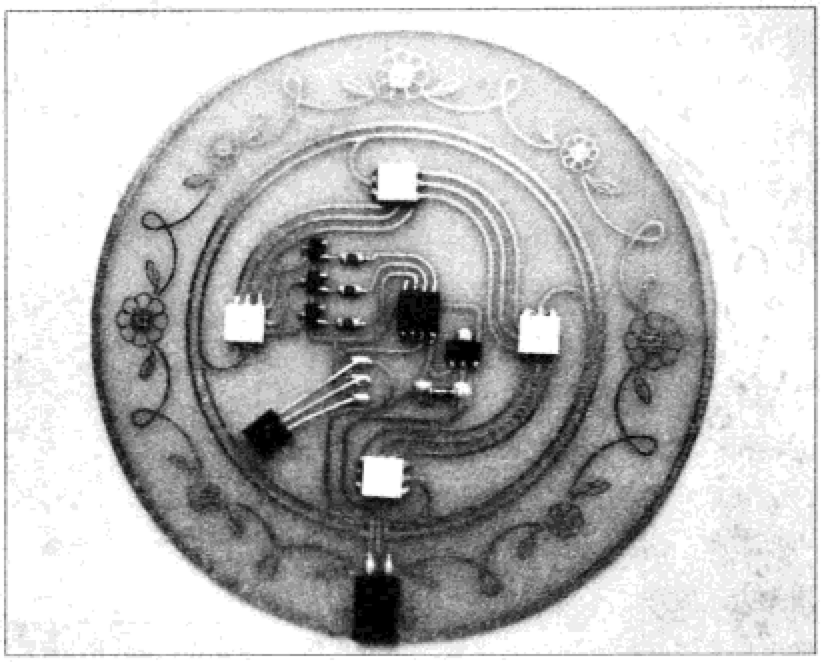
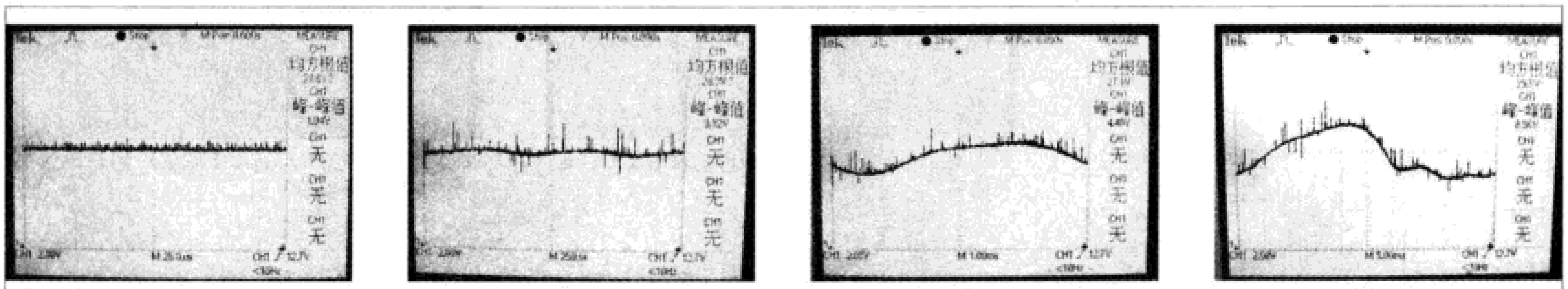


图1 波兰爱好者制作的感温杯垫

元件选择

为尽可能减少元件数量，我使用一片ATTINY24单片机，同时完成温度测量以及LED灯的控制。为了减少LED驱动所需元件以及简化布线，LED采用了ST505042。这款LED内置有ST313控



无输入时电源电压波形　1kHz/3Vpp输入时电源电压波形　100Hz/3Vpp输入时电源电压波形　20Hz/3Vpp输入时电源电压波形

图11 不同频率信号下的电源电压波形

2.3A，所以视作电感磁芯没有出现饱和的现象（最后的铁硅铝磁环较小，不排除饱和现象的出现）。

电感测试完毕后，终于可以试听一下了。将负载电阻换成音箱，无输入的情况下，依然安静得如同没有开机一样。输入音乐信号，我又一次感觉这是我听过的最好听的声音了，或许客观上来说它没有什么质的变化，但听着自己打造的东西，我想大多数爱好者都会有同样的感觉。

一切看起来似乎功德圆满之后，我突然想看看不同频率下电源的波动情况，于是有了如图 11 所示的这一组图。这组图反映了一个现象 ，那就是低频下功放对电源的要求是相对要高的，要使得图中低频下的波形变得平坦，增大 C12、C13 的容量应该是个很有效的方法，大概这就是功放电源经常使用“大水塘”电容的原因。

结束语：笔者完成了这款功放的制作和测试后，发现也有不少爱好者在关注IRAUDAMP7D（IRS2092评估板），从这个侧面也可以反映出，IRS2092方案设计的D类功放应该是受到了一定肯定的。本次的测试由于找不到合适的电源，所以笔者未能测试这套系统在大功率状态下的输出性能。如果有机会，我会进一步完成这项测试的。

制器，可以用串行双极性信号直接驱动，并可直接串联，减小了PCB绘制的难度。此外，由于这款控制器是采用恒流驱动方式，所以不会有闪烁的问题，同时也可以在3～5V下的任一电压工作良好，不会因为电阻限流发生电压改变时出现的偏色问题。因此，无论是干电池、锂电池，还是5V或3.3V电源，都可以使电路良好工作。

设计原理

这个制作的电路结构比较简单，电路原理图如图2所示，PCB图如图3所示。设计时，为避免电源反接导致电路烧毁，在电源路径上串联了1个肖特基二极管。之后，使用去耦电容来滤除电源上的干扰。

电路使用单片机内部的PN结测温，通过软件即可读到温度值。单片机使用一个I/O口连接到两个阻值相同的分压电阻，这样当I/O口输出电平时，两个电阻的中点电平为高/低电平，而当I/O口转为高阻状态时，电阻中点电平即可输出1/2VCC，由此可以生成驱动LED所需的双极性信号。

LED内置的ST313控制器使用1.2MHz以下的信号来传输信息，用1/2VCC后接低电平表示逻辑0，用1/2VCC后接高电平表示逻辑1，以此来表达每个LED所需的18bit颜色信号。当数据线闲置60μs以上时，ST313将移位寄存器中的数据锁存至LED的电流控制器中，以改变LED的颜色。由于我们的连线距离很短，所以不用考虑电磁干扰对于数据正确性的影响。但当长距离传输时，由于有1/2VCC的存在，可能会导致LED颜色出现混乱，需要采取措施减少干扰的影响。将LED串行连接，在第1个LED上接入单片机信号，就可以根据单片机输出的电平信号单独控制任何一个LED的RGB颜色了。

编程调试

为了对单片机进行编程，一般使用ISP（在线编程）功能进行程序下载。可是这一功能通常需要6条线，至少也需要除电源线外的4条线。这对于自行制作的单面电路板布线是有一定难度的，而且会部分破坏电路的美观。一种解决方式是使用单片机烧写座进行编程，这种方法的缺点是烧写座价格不菲，而且芯片焊接后较难再次编程。

我采用的解决方案是使用AVR的单线调试功能（debugWIRE）实现程序修改。DebugWIRE是使用单线双向接口的片上调试系统，除电源线外，仅需要1条线就可以实现程序的修改和调试。但是为开启debugWIRE功能，仍然需要焊接飞线来修改芯片的熔丝位。设置熔丝位完成后，即可撤除飞线，仅使用复位线这1条线来控制芯片的程序。这种方式唯一的要求是需要一个原厂的调试工具，如AVR Dragon或MKII。之后就可以在AVR Studio中直接仿真程序，并按需要插入断点，实时查看各变量的值，以调试程序的正确性。

需要注意的是，每次断点的使用都将减少Flash的寿命，所以最好不要用同一块芯片调试过多的程序，但调试完直接使用是没有什么问题的。正常结束调试后，芯片不会在上电时执行程序，在调试运行时拔掉调试线，即可让程序正常运行。使用debugWIRE时，复位线上不要有其他元件。不过，debugWIRE会略微增加休眠功耗，故对功耗要求高的应用最后要将其关闭。

温度标定

使用单片机测定温度时，需要考虑传感器的误差。由于单片机测温是使用片上二极管测温，所以误差比较大。在不经标定的情况下，可能只有±10℃的精度，所以需要使用标定方法来提高精度。对于电子测量来说，我们是用电信号来表达另一个物理量，也就是用电压来表示温度，并用ADC来转换为数字量。因此，我们需要电压与温度的函数关系，才能够用电压值来反推温度值。显然，我们需要知道单片机测量到的真实温度。我们可以用一个较高精度的温度计来获得温度值，市售的玻璃水银温度计、指针温度计或远程温度计均可，也可使用万用表附赠的热电偶，或者是经过激光标定的传感器，比如18B20。如果Geek精神够足，使用冰水混合物等非主流方法亦可，可行性请咨询物理老师。

得知温度后，接下来就是建立电压与温度的函数关系。由于我们最终要由ADC转换为数字量，所以数字量输出和温度的函数关系也是等价的。理想的情况下，我们要取到尽可能多的温度

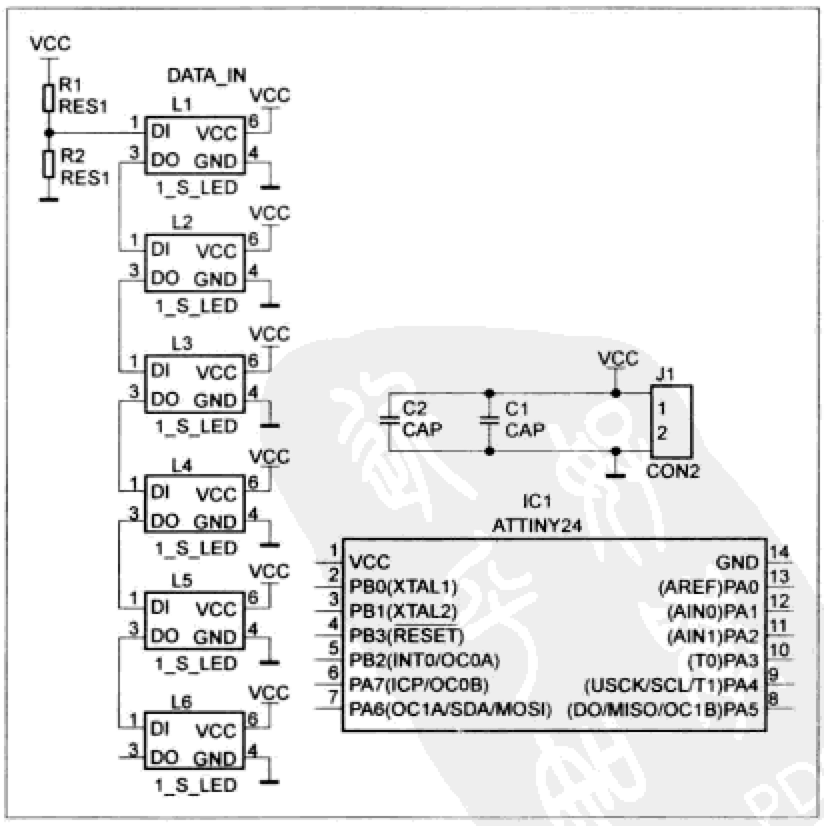


图2 彩虹杯垫电路原理图

点，使任何一个输出值都被覆盖到，使用查找表即可用输出值反推温度值。但是，这么多温度点的覆盖往往是不现实的，我们只能采集有限个数据点，并拟合出函数曲线。一般来说，函数的次数要低于采样的数据点数，可以使用最小二乘法来拟合曲线。如果只需要结果，excel就能做到这一点。另外，如果想知道穿过所有点曲线的形状，可以尝试使用拉格朗日插值法来获得函数。一般工程上，采用等距离采集多个数据点，然后分段直线拟合就能得到比较不错的效果。

这个制作由于对精度要求不高，而且追求简单，我们假设数字量输出和温度的函数关系是线性的，而且每1℃的变化对应数字输出量变化1。我们只需要1个点就能确定函数的位置。当然，这一点处于待测区间之中会使精度高一些。在这种情况下，只要把待测点的输出值和标定点的输出值求差，并把这个差加到标定点的真实温度值上，就可以求到待测点的真实温度值。虽然精度仍然不高，但对于这个制作绰绰有余。

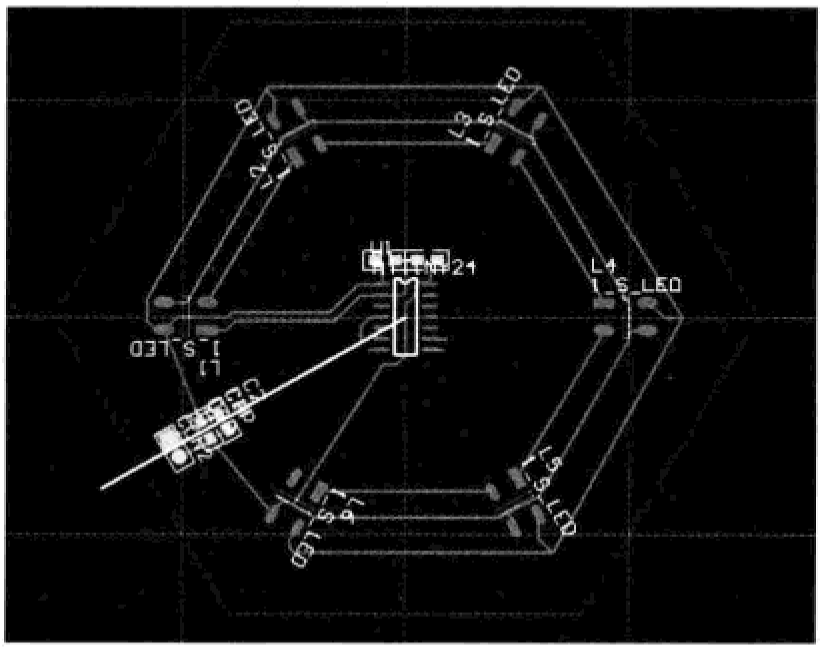


图3 彩虹杯垫PCB图

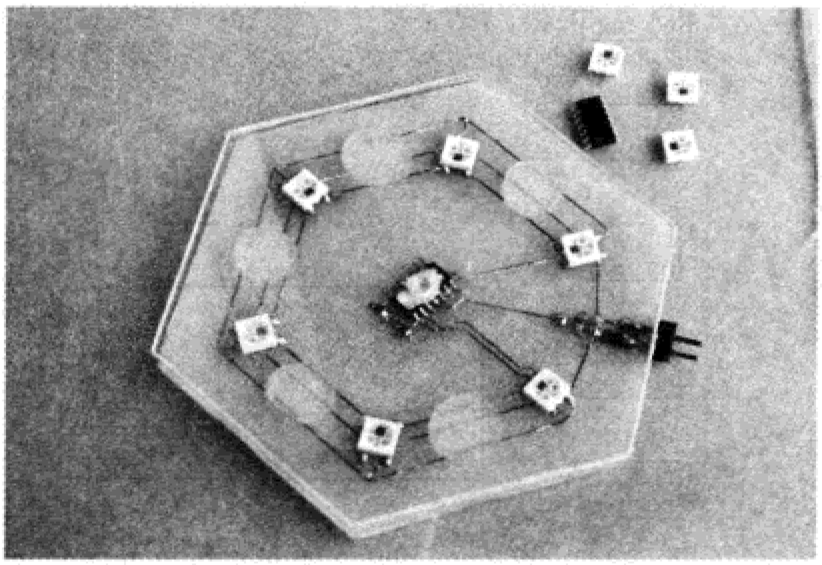


图4 制作出的杯垫实物

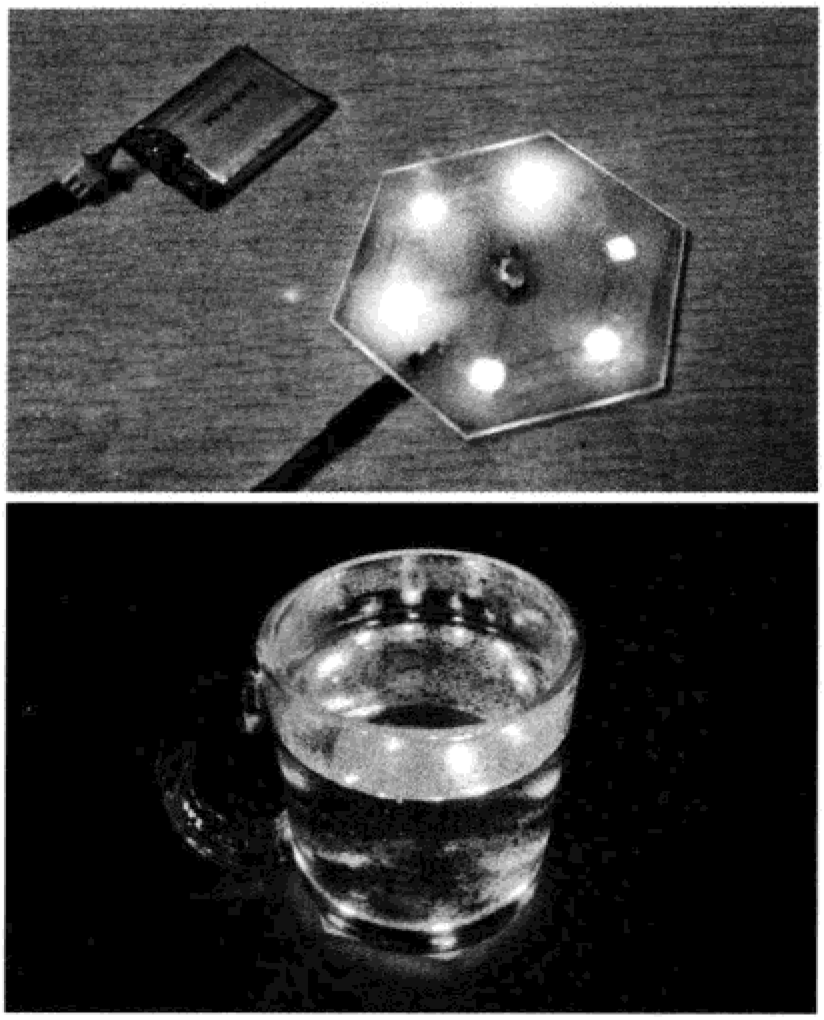


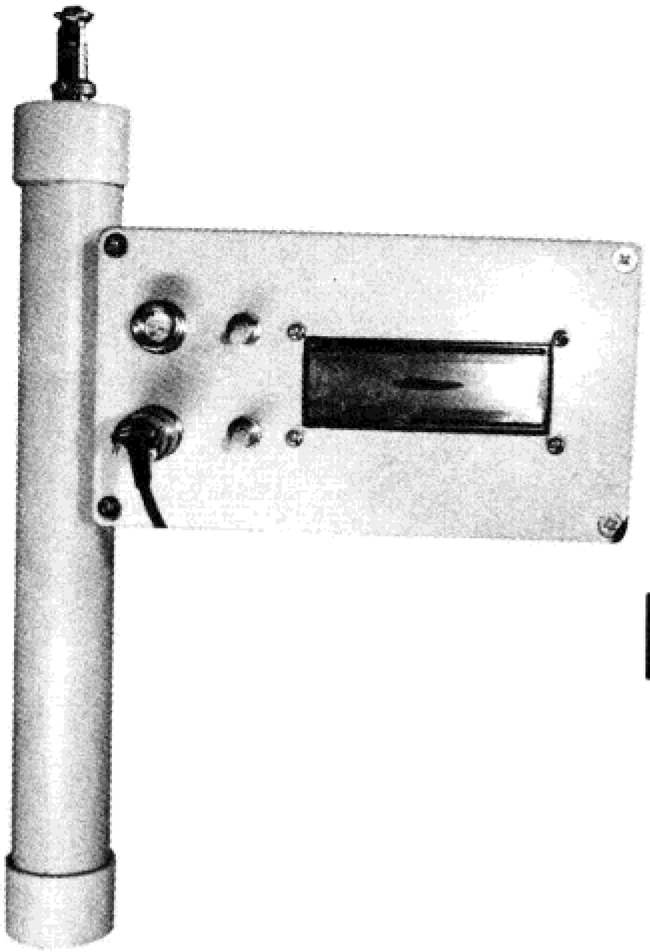
图5 发光效果

另外，传感器测定出的温度值可能会有少许的抖动，这会导致系统在临界温度上在两种模式间来回切换。所以，在温度的判定上，我采用了滞回算法，即在温度上升到40℃时切换到高温模式，而下降到35℃才能切换回普通模式。低温也应用类似算法。这样，系统不会被传感器的抖动所干扰，工作较为稳定。

制作方法

为组装整个杯垫，需要将PCB裁为六边形，并裁取一块与之形状一致的有机玻璃板，可以在确定切割线后用钢尺辅助，以钩刀划开。之后，在有机玻璃板中央钻孔，但要注意钻头速度不能太快，进刀量不要太大，以避免温度过高，导致孔边缘熔化。在有机玻璃板中央钻孔。如果有机玻璃板上出现了划伤，可以用热风枪加热损伤部分，有机玻璃的小划痕会在高温下消失。之后在PCB上打上热溶胶，将有机玻璃板粘接在PCB上。最后将导热胶从有机玻璃板开孔处注入，将开口的上表面和单片机连接成一体。这样单片机就可以测量到杯垫表面的温度了。制作出来的实物如图4所示。至此，将杯垫连接上电源，整个杯垫就会点亮，发出彩色的光芒，如图5所示，根据杯垫上饮料的温度，变换出不同的颜色。

本制作所需 PCB 文件及程序可到《无线电》杂志网站上下载。



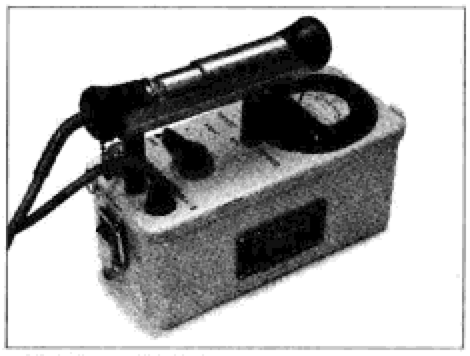
◎朱轩（BH4RCI）

自制盖革-米勒计数器
——检测核辐射的利器

日本强震、海啸、福岛核电站严重核泄漏……灾难消息总令人不寒而栗。而关于核辐射的话题，也成为人们关心的焦点。我们所处的环境中辐射剂量到底有多大？用什么来检测呢？通过查找资料，笔者制作了一台检测环境核辐射量的仪器——盖革-米勒计数器，特将制作资料和心得与大家共享。

盖革

检测环境核辐射量



盖革-米勒计数器产品

背景知识

盖革-米勒计数器是1908年由盖革（Hans Geiger）发明，在1928年又由他和他的学生米勒（Walther Muller）改进而成的。盖革-米勒计数器是一种专门探测电离辐射（α粒子、β粒子、γ射线）强度的记数仪器。其主要部件——盖革-米勒计数管通常是一根充有惰性气体的管子，管内装有两个电极。工作时，给电极加上额定直流高压，管内气体受激电离产生脉冲电流，经外部放大电路放大后，便可用计数电路记录。管内单位时间电离数目与辐射强度有关，由此便可测得电离辐射强度。

电路原理

笔者所制作的盖革-米勒计数器可以检测环境中γ射线辐射计量，通过单片机计数、转换成常用的微西伏/小时（μSv/hr），并使用1602液晶屏显示。电路部分

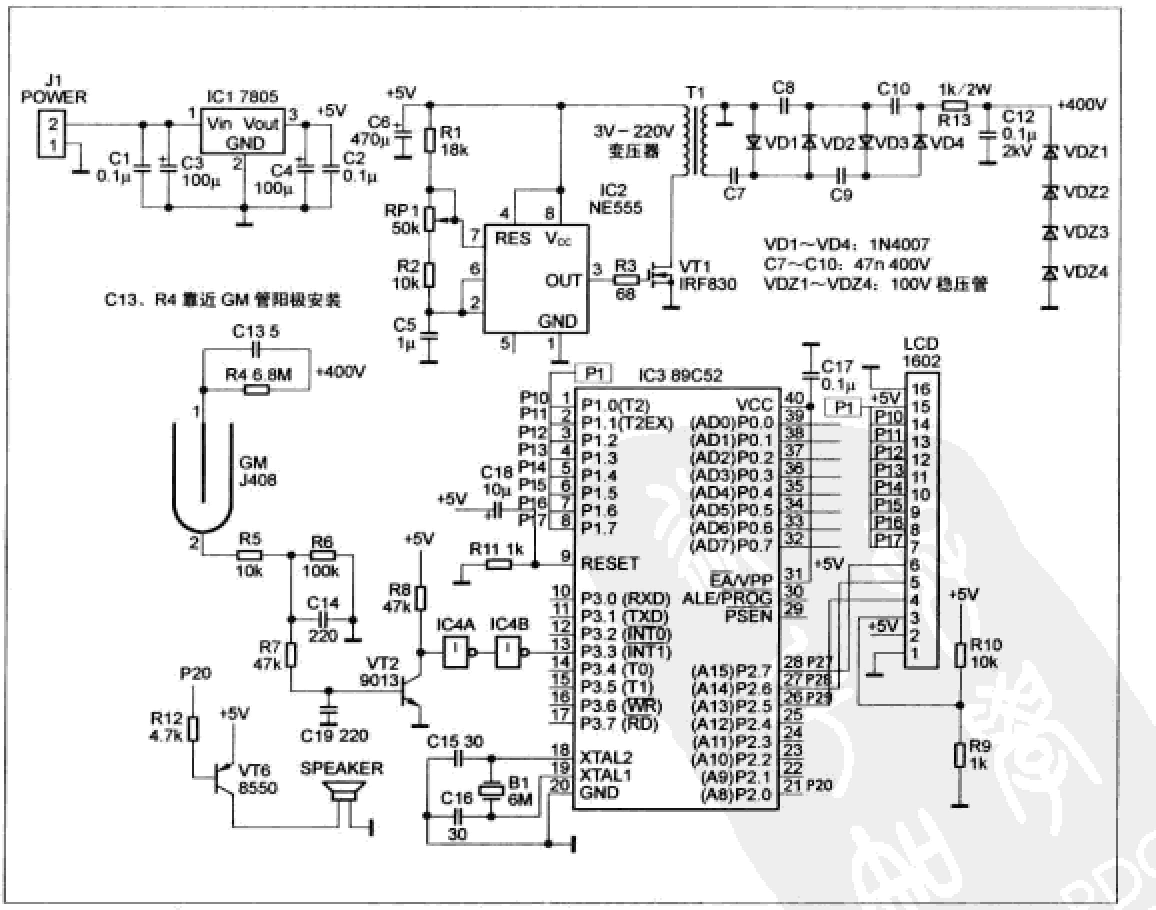


图1 盖革-米勒计数器电路原理图

如图1所示，大体可以分为两个部分：高压电源部分和计数器电路部分。

1. 高压电源部分

高压电源部分用来产生400V直流高压，给盖革计数管供电。这里需要指出的是，不同型号的盖革计数管有着不同的工作电压。笔者所使用的是J408γ，见图2，工作电压在400V，本底数在80次/分钟（CPM）。若使用不同型号的盖革计数管，则应当根据说明书推荐的工作电压来调整这个电路高压部分稳压二极管的稳压数值，以达到最佳的工作效果。

笔者实验了多种升压电路，原理图中选择了使用555组成的振荡器驱动MOS管。用升压变压器升压后，经倍压整流、稳压后，就得到了所需的高压。555振荡器结构简单、元件数少、成熟可靠、易于制作。按照电路图制作无误的话即可工作。升压变压器可以选用小功率电源变压器，如初级220V、次级3～6V的小电源变压器，用3~6V端接MOS管端，用220V端输出至倍压整流即可。安装正常后，调节多圈可调电阻RP1就可以改变振荡器频率。

用万用表500V直流挡测量R13靠近倍压电路一端的电压，调节RP1，观察万用表，使电压为450V左右即可。这时用万用表测量稳压管稳压输出端的电压，应接近380V（由于一般万用表电压挡内阻为

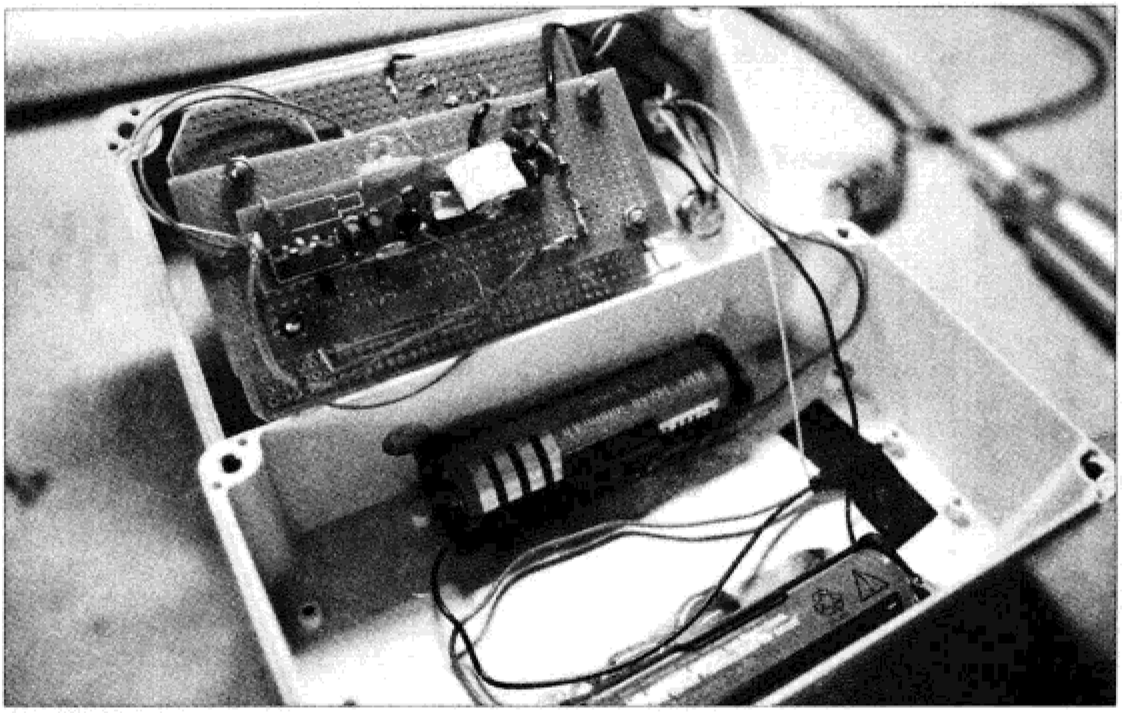


图3 做好的电路

10～20MΩ，而并非无穷大，所以测量结果会略小于稳压管理论电压值），这说明高压电源部分工作正常。

需要说明的是，流过盖革计数管的电流非常微弱，所以在制作时无须过多关心升压电路的功率。

2. 计数器电路部分

计数器部分主要由采样放大电路、缓冲电路、AT89C52单片机以及1602液晶显示屏构成。笔者采用了盖革计数管阴极取信号的电路，在阴极上由R5、R6组成分压电路。当盖革计数管电离时，将有脉冲电流通过R5、R6，在R6上产生一个低压脉冲，经过R7限流后控制VT2基极。VT2可以选用常见的9013等NPN三极管。脉冲信号经过VT2放大后，经过两个CMOS缓冲非门（CD4049）进入单片机P3.3(INT1)引脚，触发中断计数。

1602液晶显示屏、蜂鸣器以及单片机最小系统按照电路图制作即可正常工作。由于市场上的1602液晶显示屏在时序上存在着一些差别，请务必确保单片机复位电路的时间常数选取合适，以保证1602正常运行。

计数部分的单片机C语言程序由我的朋友刘梦蛟编写并调试通过，源程序以及烧录文件可以到《无线电》网站www.

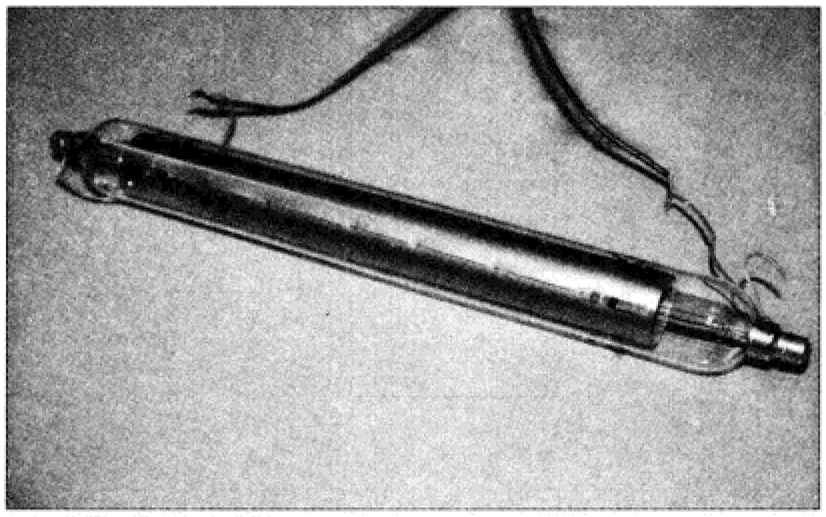


图2 制作中使用的盖革管

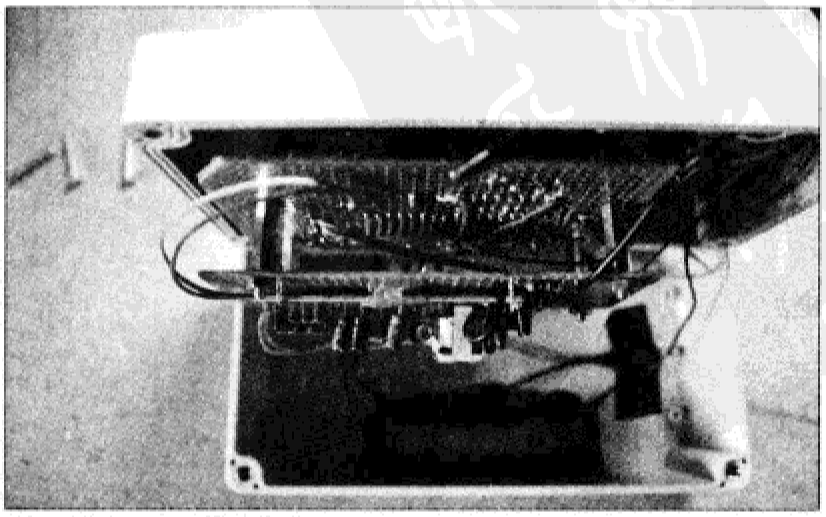


图4 电路在盒子里的安装方式

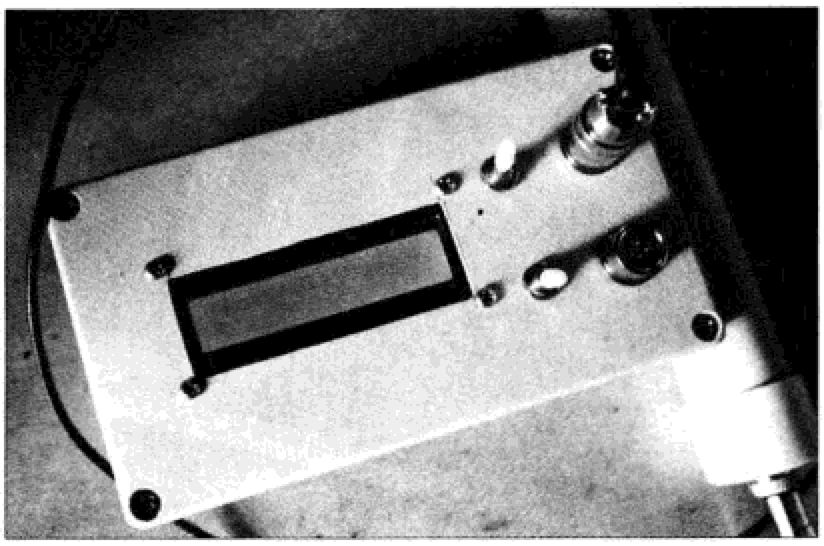


图5 我做的盖革-米勒计数器外观

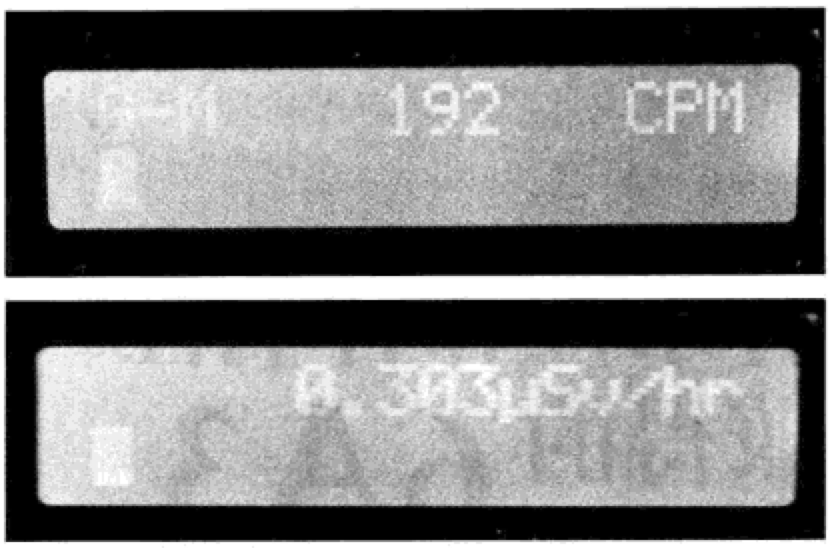


图6 显示出的测量数据

radio.com.cn上下载。程序记录每一分钟的脉冲数，并通过计算得到以微西伏/小时（μSv/hr）为单位的核辐射剂量。1602显示屏第一行每6秒轮流显示每分钟脉冲数（CPM）和辐射剂量微西伏/小时（μSv/hr），第二行显示当前的每秒脉冲数（CPS）进度条，以10CPS为一格。

制作要点

在安装方面，盖革计数管负载电阻R4可根据不同盖革计数管选取5~10MΩ的，C13选用5pF/450V。R4和C13应尽量贴近盖革计数管的阳极安装。盖革计数管可与电路部分安装在同一盒子里，也可单独封装，并通过引线与电路部分连接。但要注意，引线不宜过长，并注意高压绝缘，建议选择小于0.5m长的带屏蔽层的双芯线。

笔者做好的电路及安装方式分别如图3、图4所示。这个实物电路是经过了改进的，我用更小的升压模块替代了原理图中的555升压部分。图5所示外壳是我在买来盒子上自己开孔做的，盖革管装在了PVC管中。

至此，一台可以检测环境核辐射剂量的盖革-米勒计数器便制作完成了。如内置电池的话，则可以成为便携式测量仪，在环境核辐射检测以及室内装潢材料安全性检测方面都可以收到很好的效果。

笔者介绍的盖革-米勒计数器无须用放射源标定（实际上，普通人也无法取得标准放射源来标定），而使用了计数管厂家给出的CPM与μSv/hr的换算公式将其并内置于单片机程序中自动计算，其精度不影响一般测量。

笔者按上述方法，制作了多个盖革-米勒计数器，实际使用中效果都非常理想，测量灵敏度非常高。最近，有很多朋友和我讨论了关于盖革-米勒计数器制作相关的问题，笔者也得到许多启发，汇总一些典型的问题，希望对读者有所帮助。

问：盖革计数管哪儿有卖？应该如何选择型号？

答：网上可以买到多种型号的盖革计数管，也可以找到相关管子的参数，但有些商家价格高，性价比不好，选购时要多比较。

具体型号应根据盖革管测量射线的种类来选择。通常，盖革管分为α、β、γ及多种复合型号。

在环境辐射检测中，最弱的α射线能量，一张白纸就可以挡住，所以这并不是我们关心的；β射线是高速电子流，有一定穿透能力，但也不强；而γ射线能量最高，对人体组织的破坏能力也最大，需要重点防范。因此，我们在选择盖革管时，选可测γ射线或可测β、γ射线的盖革管为好。管子工作电压应该适中，本底数不宜太低或太高。

问：程序写进单片机，1602屏显示异常怎么办？

答：有些朋友购买的1602屏和笔者使用的有些差别，所以会导致显示异常。这是由于市面上一些厂家虽然号称产品兼容，但其产品在时序上依然存在着一些区别。可以通过调整单片机第9脚（复位脚）上复位电路的电阻和电容的大小来改变时间常数（如使用1kΩ或10kΩ 以及1μF或10μF的组合），使1602可靠复位，即可正常工作。

问：外置盖革计数管并使用馈线和BNC接头作为计数管与电路之间的连接时会有干扰吗？电台在盖革计数管附近发射会不会产生干扰？

答：会有干扰，因为为了避免从盖革计数管阳极高压处采样，我设计的电路选择了从阴极采样，使用馈线导致BNC接头外壳易受到干扰。建议选择带屏蔽层的双芯线，并使用航空插头连接。笔者实验了UHF/VHF频段手台在盖革计数管附近发射，未观察到明显干扰。

问：使用了和笔者电路不同型号的盖革计数管，程序是否需要修改？

答：需要更改一个换算常数。在换用其他计数管时，本程序记录的每分钟脉冲数（CPM）无须修改即准确，但剂量换算时，由于盖革计数管参数的不同，需要按照管子的说明换用另一常数，请咨询管子卖家取得这一参数。

◎杨仰秋

音乐性和音响性兼得的6A3

我知道在《无线电》这样权威性刊物的读者群中，音响DIY高手比比皆是。我DIY的6A3并不是什么发明创造，是老祖宗给我们留下这块好玩的“魔方”，让我们着魔，让我们发烧。DIY不过是“自己挠痒自己乐”的活儿。但是，这台6A3单端机在“2010胆艺轩第二届粤港澳台联谊会暨DIY作品交流大赛”中，经过专家组的测试和评委的盲听，获得了第一名，因此备受大家的关注，让很多发烧友感到惊奇。有人还打电话问我：小小的3.5W功率，能在众机中脱颖而出，这机究竟吃了什么灵丹妙药？大家对这台机器的认可只能说明我在对于一个电路的把握和在元件的选择上不太离谱，特别是在调校声这方面下的功夫没有白费，仅此而已。

20世纪30年代，在2A3开发不久，美国、日本等相继生产同类型管子6A3，灯丝供电为6.3V/1A，管座接法仍为大四脚，性能参数与2A3完全相同。长期以来，6A3并未得到音响界的认可，不少人认为它提高灯丝电压使阳极电流中附加的交流成分增加了，由于这种交流成分并非由阳极供电滤波不良产生的，理论上说是无法消除的。即使采用直流电压为灯丝供电，阳极电流在空间分布的不均性也会带来严重的噪声，因此，6A3一直被打入冷宫，无人问津。

我与6A3有缘，两对全新的SYLVANIA的6A3到了我的手中，一对是1937年出厂的（管座上有刻字），另一对是1940年出厂的，灯丝吊钩。捧着这两对“弃婴”，看着它们那毫不认输的“神色”，我下决心把它们扶上马，上阵PK2A3。

这两年间，我DIY过十余台2A3单端机，试用过曙光2A3C、曙光御藏版2A3C、天津“洋葱头”2A3C、前苏联早期的“和平鸽”2A3、美国RCA双屏2A3，也试用过各种不同类型的输出牛（输出变压器）。在参赛之前制作的3台功放机中，我开始采用单C型输出牛。这种牛绕制工艺特别精细，采用“特富龙”为绝缘材料，线包不浸漆。选用一级放大兼推动的电路，让我的机器从“好听”向“动听”跨出了一大步。这次的6A3参赛作品同样采用这个电路，具体电路见图1，功放的内部结构及一些元器件的布局如图2~图5所示，图6~图8是评审专家组对该功放的测试曲线图。

在我装过的2A3机中，一直用交流电给灯丝供电，基本上没受过交流声的困扰，用几款90dB以上的音箱作试听，耳朵贴近

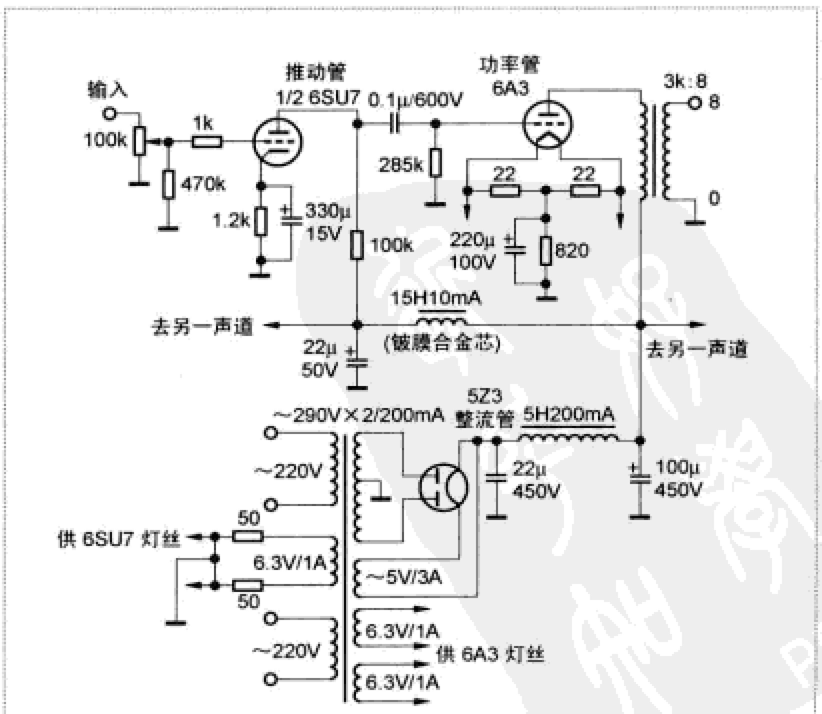


图1 6A3功放电路图

音箱也基本听不到什么噪声。这台6A3的灯丝也同样采用交流供电，灯丝分压电阻全部使用进口线绕电阻，配对比较严格。这台机的电源变压器，仍用2A3的电源变压器，只是在机上专门为6A3配上一只6.3V×2的灯丝变压器供两管灯丝用。

本机采用自给栅负压，灯丝中心点接入自给栅负压电阻（820Ω）和旁路电容器（220μF）。在正常状态时，该点对地电压为45V，6A3的屏极对阴极的电压为250V，实测电流为55mA，阳极屏耗为13.75W。由于6A3的跨导较高，栅极电压对阳极电流控制能力较强。为了避免管内微量残余气体影响栅负压的稳定，经反复实验，栅漏电阻选为285kΩ，交连电容选用0.1μF的美国Vcap电容。这样的严格把握，让6A3工作在最佳状态上。该电路在输入信号电压峰值为45V时，输出功率应达到3W以上，非线性失真度为5%，其中以偶次谐波失真为主。为了避免非线性失真度的增大，在选择驱动级电子管时，我做了一番比较，最后决定将前面常用的6SL7换上6SU7，其输出电压峰值在45V以上，效果比6SL7更胜一筹。

6A3作为A类输出级，常规最佳负载阻抗为2500Ω，这次我尝试用3000Ω。这对单C牛的铁芯也特别大（如用来做电源变压器，功率可达360W以上）。初级电感量约为10.5H，漏感约为10mH。也许是“歪打正着”吧，这次接受专家组的测试，这台机的频率响应为10Hz~30kHz。

本机的另一个特别的地方是，它的体重为45kg。几个变压器罩均用10mm厚的A3钢板经刨、焊、磨、车四道工序，机座采用3mm冷轧钢板压制焊接，第二层的安装板和底板成形后均进行镀锌加工，4只机脚用铸铁车制，机座与底板之间夹了一层6mm的橡胶层。这样折腾的目的，为的是防震、消震，使机器稳如泰山。在年轻的时候，看到搬运工人背驮100kg重的货包，在码头上发出那哼声，听过大堤上打夯工人的叫喊声，它们深深地打动着我，这和舞台上演员的表演完全是两回事……一台能发声的机器，通过对无源元件的精确把握，常常会收到你意想不到的效果。

在调校声的过程中，我首选是电台播音室专业播放机DENON，DN-970A。这种机没有什么癖性，在还原音乐和人声让人感觉那份清纯，没有刻意的加工和修饰，这是一个不错的声源。音箱选用JBL4428、线材均为ORTOFON。试音的CD软件，我选用《一听钟情》的声霸II。该软件录音效果真实，音乐内容

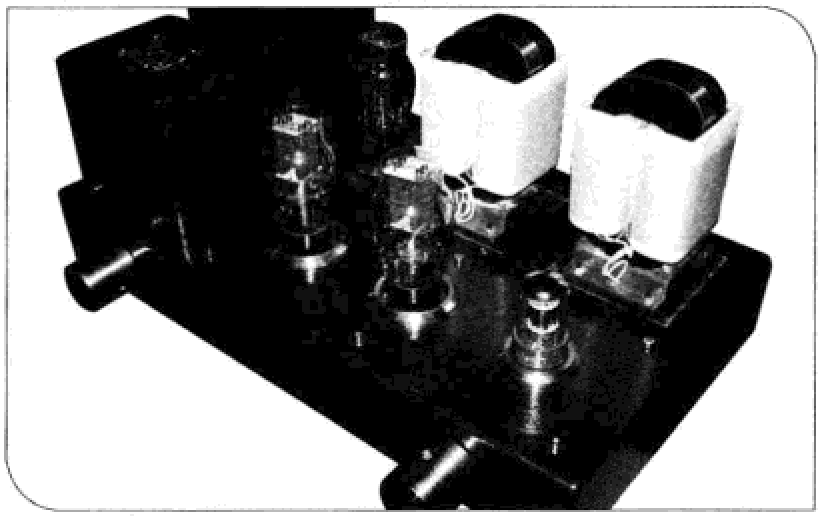


图2 把罩放下，让你看一看这对输出变压器

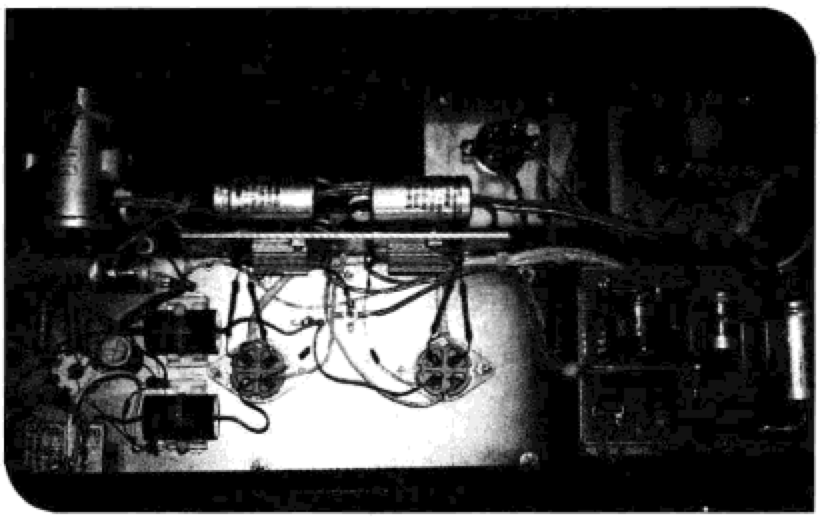
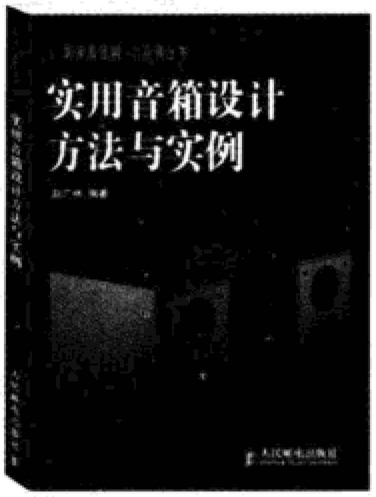


图4 6A3功放内部元件装配

图3 一级6SU7的相关元件

图5 专门为6A3灯丝做了一个变压器



书号：ISBN 978-7-115-23977-8
定价：38元

新书介绍

《实用音箱设计方法与实例》一书已经面世，该书从音箱原理入手，详细介绍各种档次音箱箱体和分频器的业余设计和制作方法，书中给出了大量制作实例及扬声器的详细资料。该书层次清晰、资料翔实、语言通俗、实践性强，适合广大电子爱好者和音响爱好者阅读。本文从该书中节选两个音箱制作实例，有兴趣的读者可先睹为快。

实用二分频音箱制作两例

◎赵广林

很多音响爱好者都喜欢自己动手来制作音箱，这样不但可以省下一部分“银子”来升级其他的器材，而且还可以同时体验亲自动手的乐趣。自己制作音箱时，只要选用优质扬声器，再加上良好的制作工艺，其音质完全可以和成品音箱媲美，甚至超过品牌音箱。

由于二分频音箱的设计较为简单，不需要复杂的调试即可重放比较完美的声

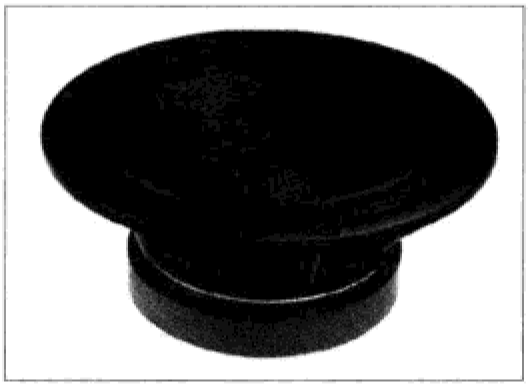


图1 ER18RNX实物

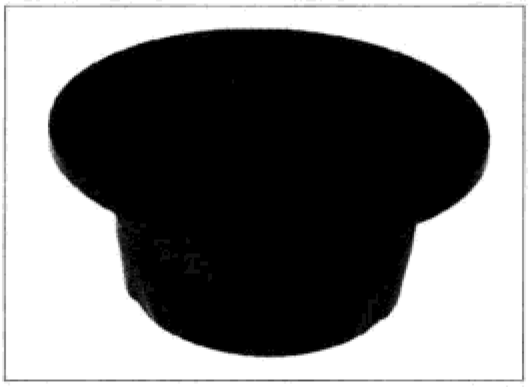


图2 27TDFC实物

丰富，涵盖了音乐的大部分类型，包括交响乐、小提琴、钢琴、人声和爵士乐等。试听中感觉到，此机的音色优美大气，音乐线条绵密细腻，丝毫没有粗糙的感觉，音响元素中该有的细节、质感、空间度、结像力、微动态响应及高频的延伸能力应有尽有，给人一种自然、动听、舒适的享受。为了试一试它的重量感，播放了TELARC著名《施特劳斯节庆》（俗称“红衫仔”）中的“百发百中波尔卡”，竟也能在大声压、大动态下依然保持原有的音色、质感，而且动态毫不拖泥带水，强声压下也没有过早出现紧张感，音场仍然能保持足够的清晰度（电位器调在2点）。在40~50m²的听音环境里，3.5W不失真功率能给人带来这样的感觉，你还要它提供怎样的重量感呢？

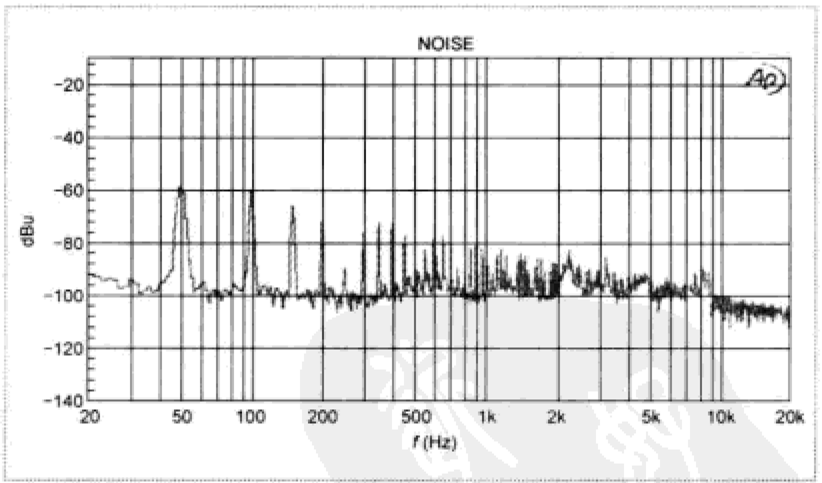


图7 噪声测试曲线

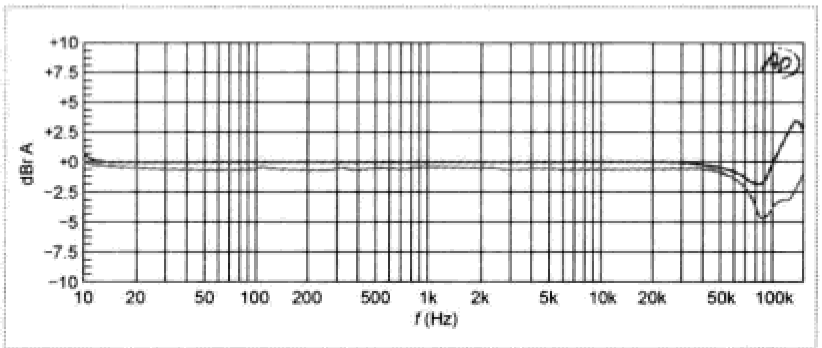


图6 频响曲线

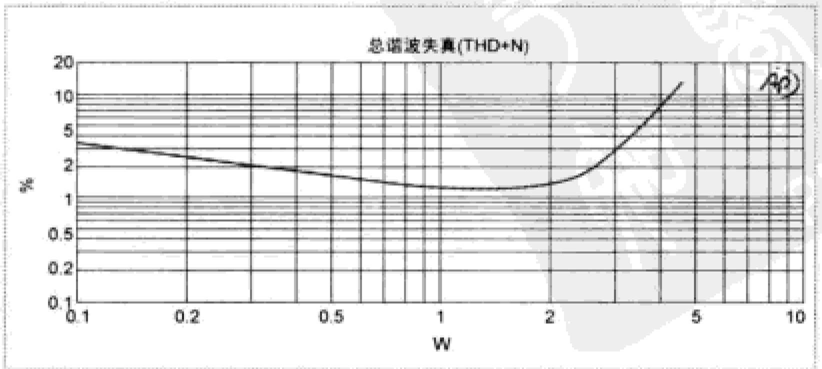


图8 总谐波失真曲线

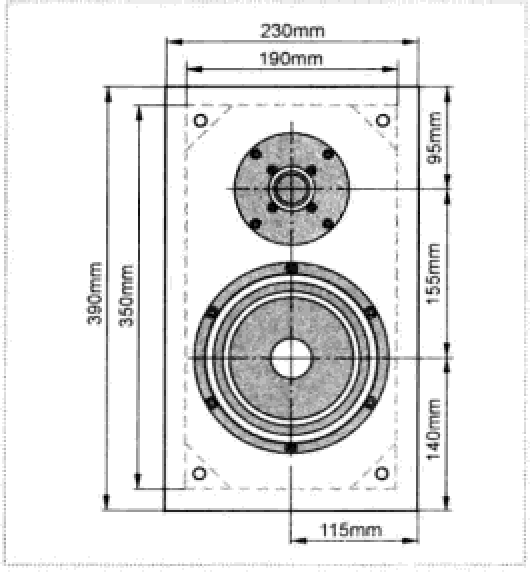


图3

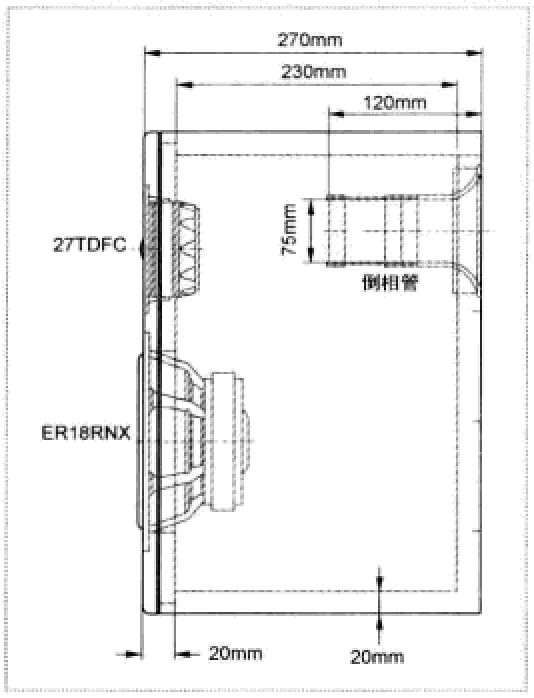


图4

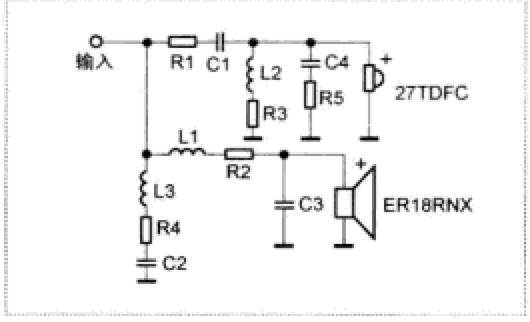


图5

音，因此很多音响爱好者在自制音箱时都喜欢制作二分频音箱。下面就介绍两款实用的二分频音箱制作实例。

用SEAS扬声器制作二分频音箱

本例制作中的扬声器全部选择了知名厂家挪威SEAS公司推出的苇浆材料纸盆的低音扬声器单元ER18RNX，高音扬声器选用了SEAS公司推出的绢膜高音27TDFC。这两款扬声器的实物分别如图1、图2所示。

箱体制作示意图如图3和图4所示。

分频器采用了高音四阶、低音二阶分频的方式，分频点约为1750kHz，分频点处高音的滚降斜率稍微陡峭一点，而低音为了与高音相位一致，滚降斜率相对缓和一些。实际分频器电路如图5所示。

L3、R4、C2构成阻抗补偿网络，对于场效应管或者晶体管功放来说，这部分元器件可以取消。R1是衰减电阻，用来衰减高音的灵敏度，若感觉高音上不去，则可以减小电阻值或者取消这个电阻。C4、R5用来补偿高音扬声器的频响曲线。

分频器各元器件参数如表1所示。

用ScanSpeak/Vifa扬声器制作二分频音箱

本例制作中的低音扬声器选择了著名的发烧扬声器生产厂家丹麦ScanSpeak（绅士宝）公司生产的15W8530K00，高音扬声器则选择了同样大名鼎鼎的Vifa（威发）公司生产的XT25TG30-04。为便于读者选购时明辨真伪，这两款扬声器的实物分别如图6和图7所示。

这两款扬声器的参数如表2所示。

表1

元件	参数	备注
L1	3.3mH	多层空芯电感，漆包线直径应大于1mm
L2	0.15mH	空芯电感
L3	1.1mH	空芯电感
C1	12μF	聚丙烯金属化电容
C2	33μF	普通无极性电容
C3	12μF	聚丙烯金属化电容
C4	3.3μF	普通无极性电容
R1	3.9Ω	5W普通水泥电阻
R2	0.12Ω	10W线绕电阻
R3	0.22Ω	10W线绕电阻
R4	10Ω	5W普通水泥电阻
R5	3.9Ω	5W普通水泥电阻

图6 15W8530K00实物图

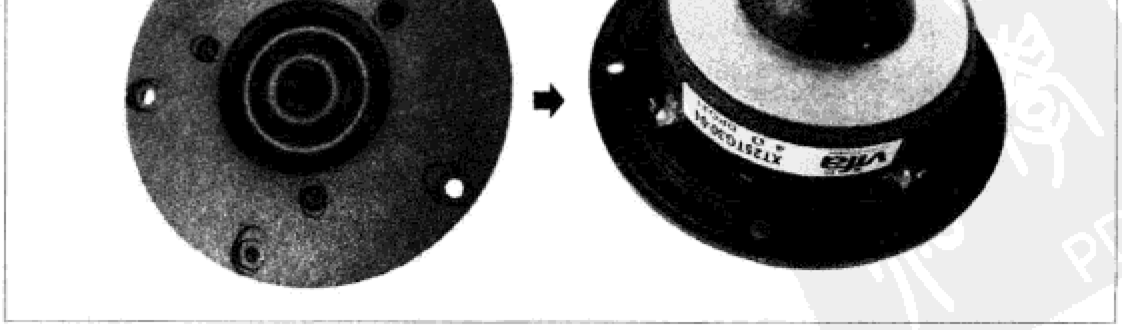


图7 XT25TG30-04实物

表2　扬声器参数

参数名称	符号	数值		单位
		15W8530K00	XT25TG30-04	
额定阻抗	Z	8	4	Ω
谐振频率	F_s	30	530	Hz
额定功率	P_{nom}	60	20	W
最大功率	P_{max}	120	30	W
灵敏度（1w/1m）	E	85.5	91.1	dB
音圈直径	Φ	38	26	mm
直流电阻	Re	5.8	2.9	Ω
磁路BL值（力系数）	BL	7	2.5	N/A
磁隙高度	He	9	2.2	mm
线形位移	X_{max}	6.5	2.5	mm
机械Q值	Q_{ms}	4.9	–	–
电Q值	Q_{es}	0.29	–	–
总Q值	Q_{ts}	0.27	–	–
振动质量	M_{ms}	13	0.3	g
等效容积	V_{as}	28	–	L

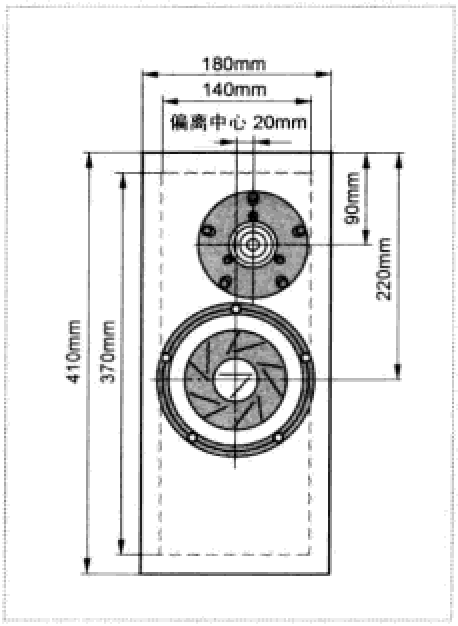


图8

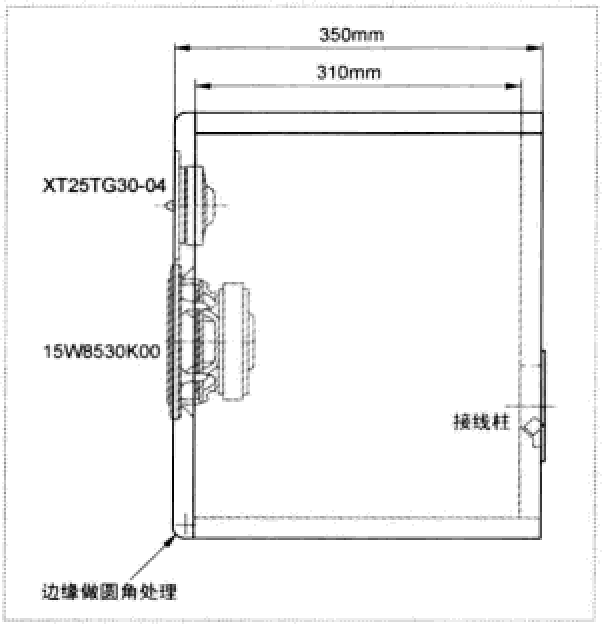


图9

箱体制作示意图如图8和图9所示。

高音扬声器的安装中心不在面板的垂直中线，而是位于黄金分割点，这样的目的是为了减少面板左右转角衍射引起的上、中频段波动、染色（面板左、右转角的急剧变化的边缘在声波的作用下产生衍射，该衍射干扰了扬声器发出的声波并又作用在扬声器的振膜上，引起中频频响的波动、染色）。

注意：左、右声道音箱高音扬声器排列是镜像的，同时，前面板与侧板的过渡应使用圆弧过渡，圆弧半径为 3/4 英寸。

分频器采用了高音四阶、低音一阶分频的方式，分频点约为2400kHz。实际分频器电路如图10所示。

分频器各元器件参数如表3所示。

分频器中高通部分电路中的电容是可以微调的，如果觉得声像太远，可以把C1改为6μF，如果觉得声像触手可及，则保留在4.7μF甚至缩小为3.3μF。建议C1不要使用普通的无极性电容，而使用音响分频器专用的电容，实际使用时可以在4.7μF的聚丙烯电容两端再并联一个0.47μF的聚丙烯电容。

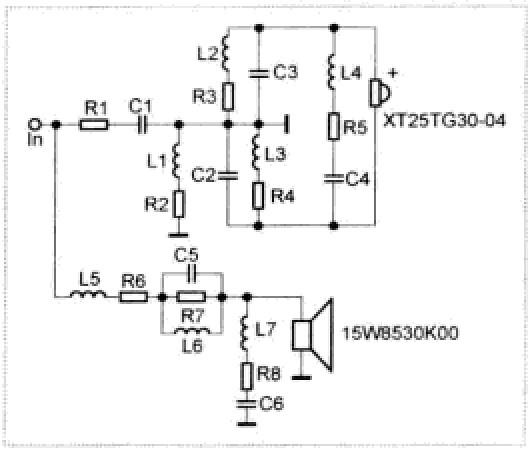


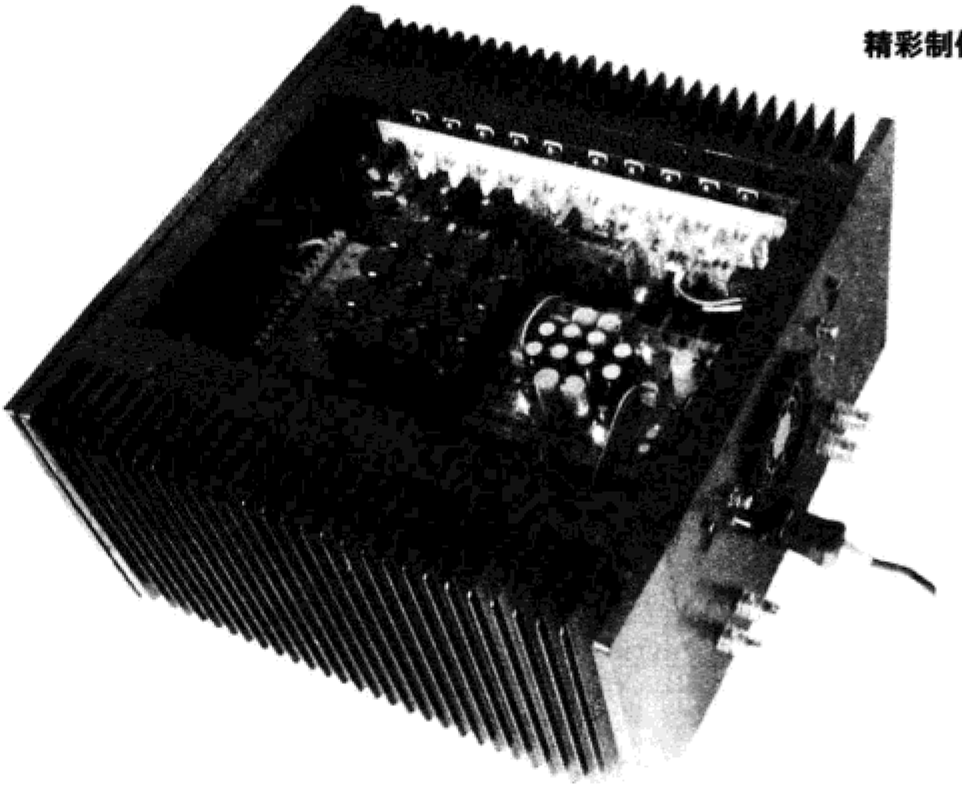
图10

表3

元件	参数	备注
L1	0.25mH	空芯电感
L2	0.5mH	空芯电感
L3	0.5mH	空芯电感
L4	1mH	空芯电感
L5	1.8mH	空芯电感
L6	0.3Mh	空芯电感
L7	0.15mH	空芯电感
C1	4.7μF	聚丙烯金属化电容
C2	12μF	聚丙烯金属化电容
C3	12μF	聚丙烯金属化电容
C4	100μF	普通无极性电容
C5	80μF	聚丙烯金属化电容
C6	4.7μF	普通无极性电容
R1	5.1Ω	10W线绕电阻
R2	2.2Ω	5W普通水泥电阻
R3	0.33Ω	10W线绕电阻
R4	0.33Ω	10W线绕电阻
R5	4.7Ω	5W普通水泥电阻
R6	0.3Ω	10W线绕电阻
R7	3.9Ω	10W线绕电阻
R8	6.2Ω	5W普通水泥电阻

除了C1电容可以微调外，高音信号的强度也可以通过改变R3、R4的值进行微量调整。电阻值的轻微变化引起音色的变化是非常大的，因此每次改变的增量要小，而且要通过听大量不同类型的音乐来确定其数值。

200W超平衡功率放大器的设计与制作



◎吴自文

平衡式功率放大器以它优越的电声性能，为众多音响发烧友所追求。但因其线路复杂，调试难度大，又使不少人望而却步。

这台超平衡200W功率放大器是“超平衡功率放大器厚膜组件”制作，不仅大大降低了装配和调试难度，也降低了制作成本，即使是初入道的DIY朋友也能轻松完成。

电路简析

整机电路结构如图1（图中仅画出一个声道，以下相同）所示，从图1可以看到：平衡信号通过缓冲器进入电压放大器，但正、负信号并不是简单地与两个电压放大器的正相端（或负相端）连接，而是相互交叉，同时连接到另一个放大器的负相端，这就是由两个减法器构成的平衡式放大器。这种结构可以均衡两个放大器的差异，使正、负信号得到完全相同的放大。这种结构的闭环共模抑制比等于开环共模抑制比，共模抑制能力很强，大大改善了放大器的信噪比。这种结构还可以将非平衡信号自动转换为平衡信号，无需增加非平衡—平衡转换电路，减少了转换电路带来的噪声。

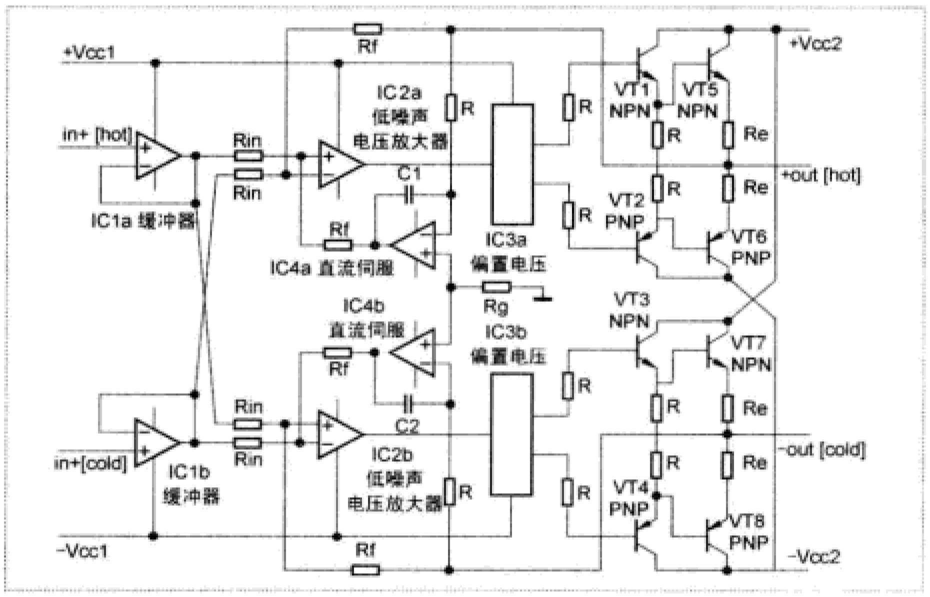


图1 整机电路结构

下面分析图1中的三块单元电路。

1. 缓冲器（WH0502）

图2所示的是缓冲器电路原理图。输入级VT1、VT2 选用低噪声JFET场效应管，组成共栅—共源电路。VT3给VT1、VT2 提供恒定的源漏极电流。VT4、VT5为互补推挽输出，选用双极性低噪声管。整个缓冲器动态大、噪声低，增益约等于1。由于缓冲器的输入级采用场效应管，所以输入阻抗很高，对信号源的影响小，对音源的适应能力强，能很好地满足各种高品质音源的要求。

2. 低噪声音频电压放大器（WH0503）

图3所示的是低噪声音频电压放大器电路。这是两个完全独立、互补、对称的放大器。我们知道，晶体管的电流放大倍数（h_{FE}）并不是完全线性的，它随着V_{ce}和I_c的大小而变化。我们在测试差分对管时，h_{FE}都是在给定V_{ce}和I_c的条件下测得的。然而在实际电路中，加在管子ce结上的电压V_{ce}却是随着信号的大小而变化，因此使差分对管在动态工作时并不完全对称。特别是PNP管，其特性曲线的斜率很大，动态时的h_{FE}与测试时的h_{FE}相距甚远。然而在共基—共射电路中，

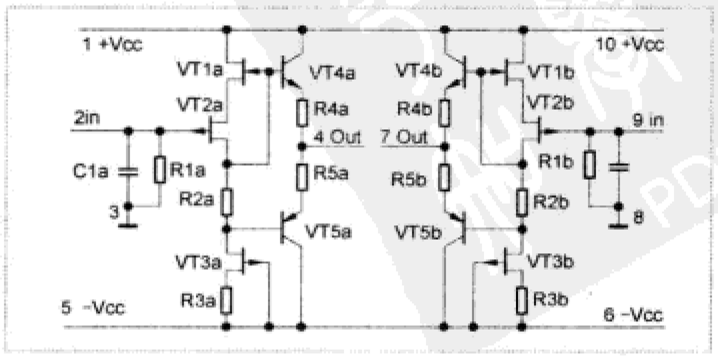


图2 缓冲器电路原理图

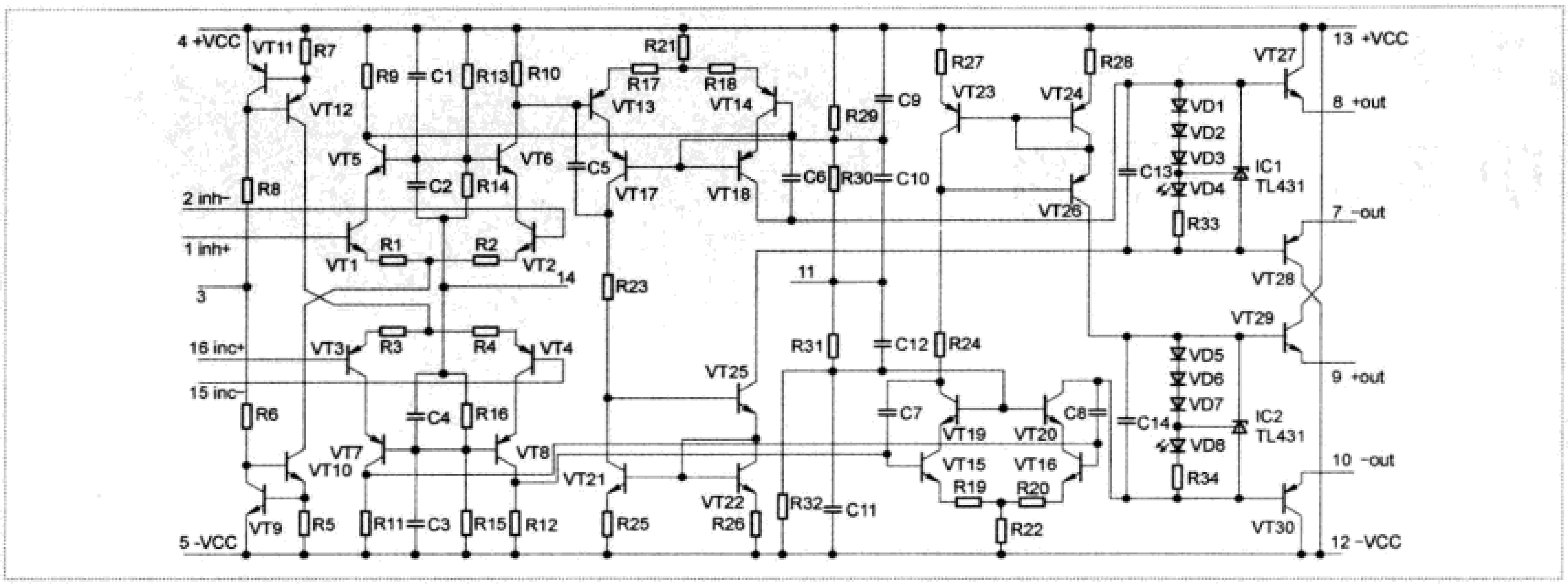


图3 低噪声电压放大器电路原理图

h_{FE}随V_{ce}不再变化。在图示仪上测试，可以看到输出特性曲线非常平直。从而保证了动态时差分对管的一致性，提高了电路性能。同时，共基—共射电路还具有较高的带宽增益，使整个放大器的频带宽度得到延伸。所以，WH0503模块中的输入级和电压放大级均采用了共基—共射电路。

第一级由VT1~VT8组成二组共基—共射差分输入级，VT9~VT12以及R5~R8组成本级的恒流源电路，有效地抑制了差动放大级的温度漂移，提高了该级的直流稳定性。R13~R16为VT5~VT8基极提供偏压，C1~C4的交流旁路作用实现了VT5~VT8的基极交流接地。

第二级电压放大由VT13、VT14与VT17、VT18；VT15、VT16与VT19、VT20构成二组共基—共射电路，VT21、VT22、VT25与VT23、VT24、VT26组成本级的威尔逊镜流源负载，这是恒流源之中效果最好的一种。若h_{FE}>100，它的电流误差可减小到2×10^{-4}左右。R29~R32 和C9~C12为VT17、VT18和VT19、VT20基极提供偏压，并使基极交流接地。有研究证明：如果我们选用带恒流源负载的共射—共基式电压放大级并在输出级前增设缓冲器，可以使电压放大级失真降低到足以忽略的程度。

第三级为VT27~VT30构成互补推挽输出，起缓冲与阻抗变换的作用。IC1、IC2、VD1~VD8，以及R33 、R34组成恒压偏置电路。发光二极管VD4、VD8仅起指示作用。随着温度的升高TL431的输出电压略有升高，而VD1、VD2、VD3（或VD5、VD6、VD7）的结电压随着温度的升高而下降，两者相互补充，从而输出稳定的偏置电压。本级的静态工作电流由VT27—VT30的外接射极电阻决定，最大可以取10mA。C13、C14电容用以旁路流入恒压偏置电路的交流分量，进一步改善失真。

模块用了30只晶体管，工作电流约45mA。在35V以上的电压下运行时，发热是不容忽视的。为了解决好散热问题，模块采用陶瓷基片双面贴焊，60mm×40mm的铝散热器包封，如图4所示。

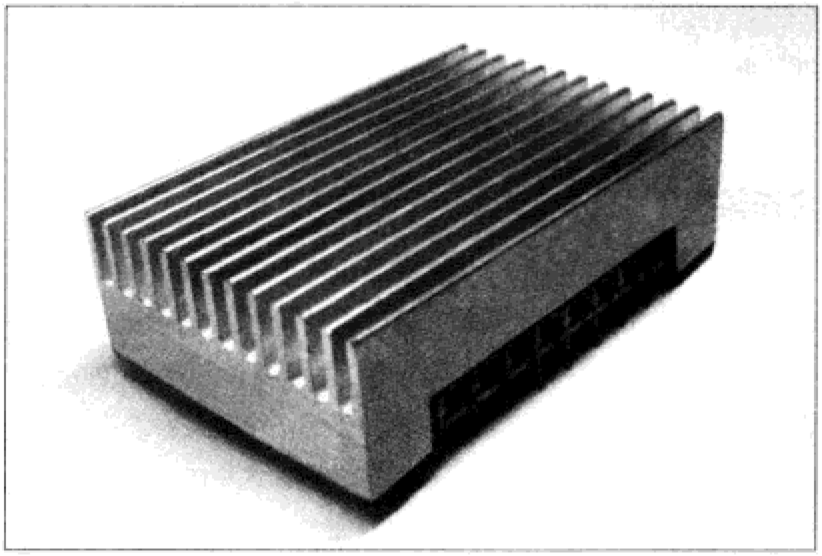


图4 WH0503外观

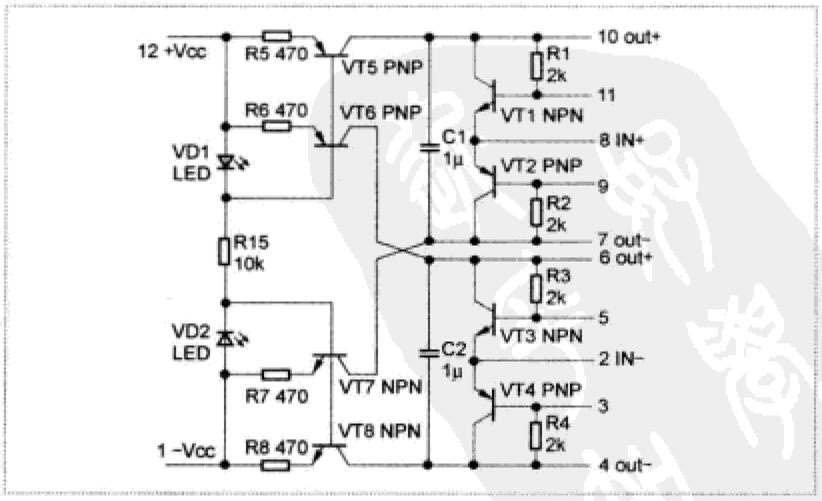


图5 偏置电压电路图

3. 偏置电压电路（WH0504）

图5所示的是偏置电压电路。该偏置电路是大家熟知的恒压偏置电路，其原理无需赘述。其中VT1、VT2、与 VT3、VT4 为恒压输出，VT5、VT6、VD1 与 VT7、VT8、VD2组成恒流源。在3、5和9、11脚之间接入电位器，调整末级功放管电流。

了解了模块的原理，整机电路就不难理解了。200W超平衡功放的完整电路如图6所示。信号从平衡或非平衡插头经过双触点继电器K1接入缓冲器。当平衡信号输入时，继电器的常闭点将正、负信号同时送入缓冲器的2、9端。当非平衡信号输入时，接通开关S2，继电器常开点闭合，将非平衡信号送入缓冲器的2端（正相端）。同时将缓冲器的9端（反相端）接地，以避免干扰信号从9端进入缓冲器。缓冲器的输出信号经输入电阻R1~R4进入电压放大器，无论输入的是平衡信号还是非平衡信号，电压放大器输出的都是平衡信号，由IC2的7、8、9、10脚输出。电压放大倍数由反馈电阻（R5~R10）和输入电阻（R1~R4）的比值决定。

在功率放大器中，末级推动管基极的偏压方式决定了功放管的工作类型，为了让放大器兼有甲类放大的低失真和乙类放大的高效率，涌现出了各种偏置电路，比较典型的有“超甲类动态偏置电路”和“新甲类同步偏置电路”。无论是哪种偏置方式，其目的都是让输出级功放管的基极电压随信号大小而浮动，使功放管工作时不会出现截止过程。笔者曾对多种偏置电路做过实验，比较它们装配调试的难易程度，末级功放管基极偏压随输入信号变化的线性程度，并对比它们的失真波形，认为同步偏置电路较其他偏置电路有更多的优点：一是电路简单，它由3个大家熟悉的恒压偏置电路和4只二极管组成，二是调整容易，它的调整和普通甲类（或甲乙类）一样，调整恒压偏置电压，即可改变功放管的静态工作电流，三是功放管的电流随输入信号变化的线性好，四是失真小。本机采用新甲类同步偏置电路，它的功

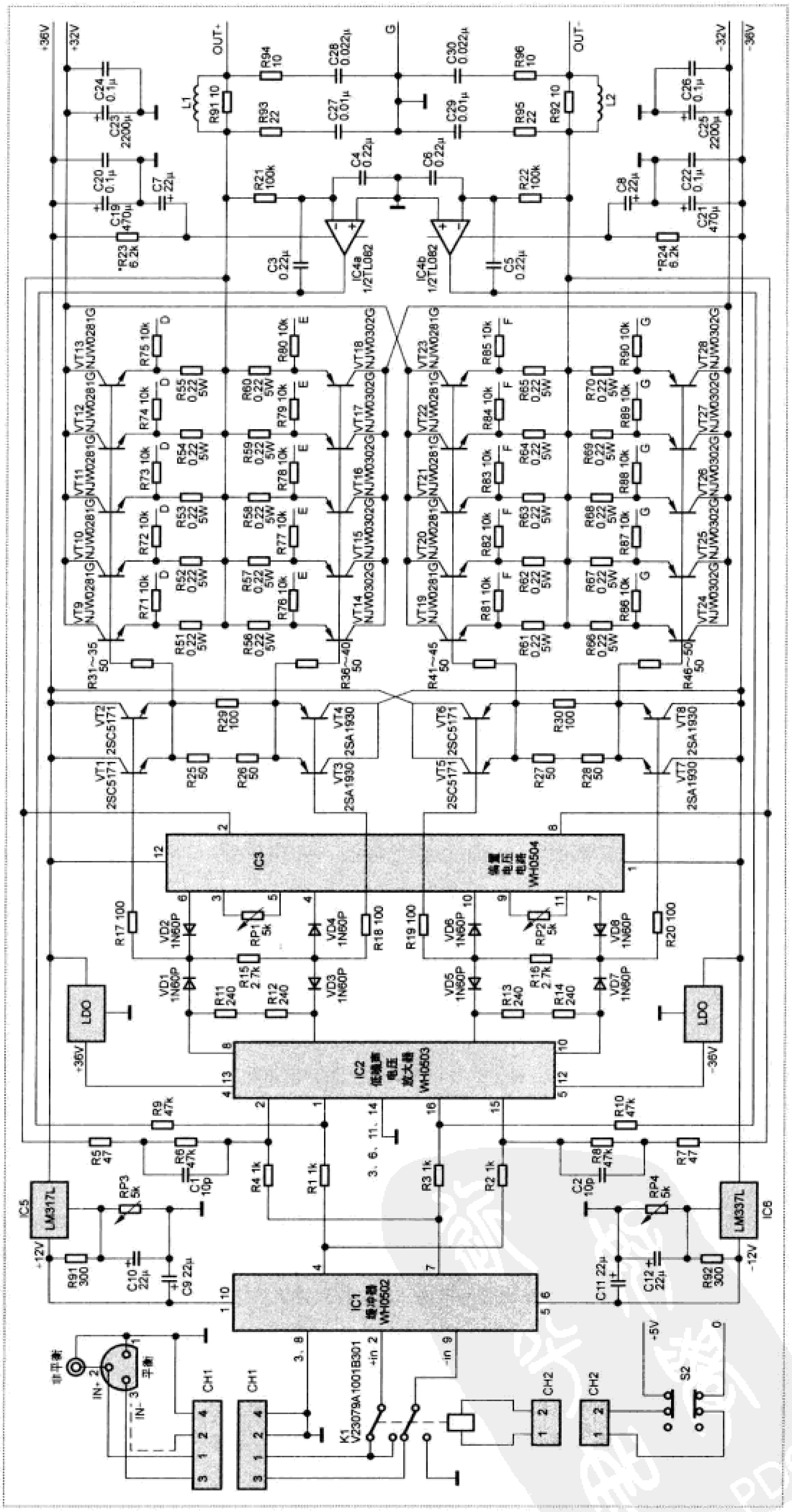


图6 200W功率放大器电路图

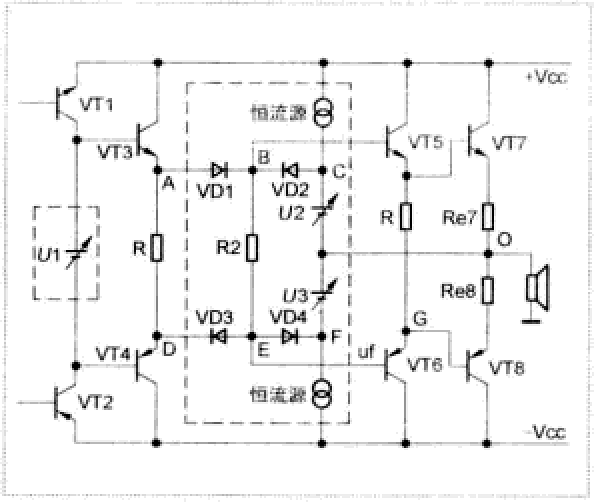


图7 同步偏置电路原理图

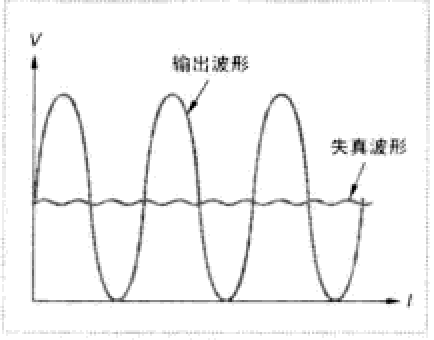


图8 新甲类放大器的失真波形

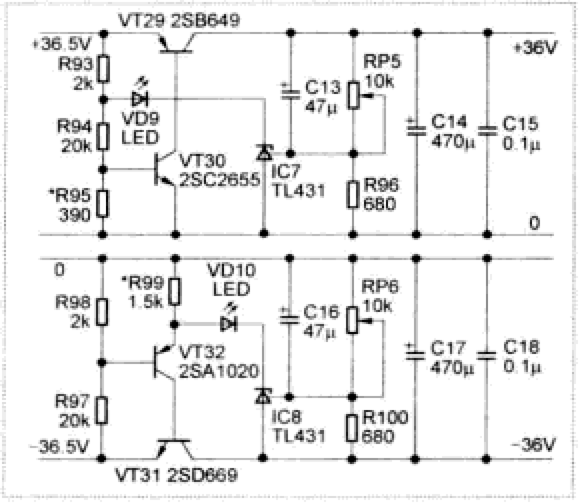


图9 低压差稳压器（LDO）电路图

耗远比甲类小、比乙类略大，可谓低碳产品了。

同步偏置电路的工作原理如图7虚线框内的部分所示，其工作过程是：无信号时，输出O点的电位为零。此时适当调整*U*1、*U*2和*U*3可使B点的电位低于A、C点的电位，E点的电位高于D、F点电位。二极管VD1~VD4均导通，VT5、VT7、 VT6、VT8的静态电流由*U*1、*U*2、*U*3共同决定。如果输入正信号，使A点电位升高，B点电位跟着升高，引起VT5、VT7的电流增大，VT7的发射极电流i_{e7}在发射极电阻Re7上产生较大的电压降u_{e7}。此时，如果输出级是单一偏置（*U*1）的普通乙类放大电路，便会因u_{e7}的增大而使G点的电位高于O点电位，使VT8变成反向偏置而进入截止状态。但同步偏置电路里，*U*3通过VD4的耦合，使VT6基极的瞬时电位u_f在随放大器输出电压U_o的升高而变化，其值总比U_o低一个值（*U*3减去VD4的正向压降）。也就是说，VT6、VT8在整个正信号输入过程，一直保持由*U*3提供的正向偏置，不会进入截止状态，避免了开、关情况的发生。这时由于输入正信号，D点的电位也升高，二极管VD3截止。由于u_{e7}较大，使得C点电位低于B点电位，VD2也截止。输入负信号时A点、D点电位降低，VD2、VD3导通，VD1、VD4截止，VT5、VT7由*U*2维持足够的正向偏置，不会进入截止状态。可见，同步偏置电路是借助二极管的开关作用和恒定偏置电压*U*2、*U*3，使功放管不再出现导通－截止的开关过程。只要VD1~VD4的开关性能比推动管和功放管好，开关失真便可克服。另外，为了抑制交越失真，VD1~VD4应选用低正向压降二极管，使输出级的推挽工作过程更接近线性。

关于二极管的选用，笔者用2AP9、2AK7、1N4148、1N60P做对比试验：输入端送入一个正弦波，用双踪示波器观察输入、输出波形。只要适当调整*U*1、*U*2、*U*3使VD1~VD4处于导通状态（流过1mA 左右的正向电流），输出波形都很光滑流畅，看不到开关失真和交越失真的迹象。分别调节示波器Y1、Y2增益，使输出波形与输入波形完全重合，把示波器的一踪置于倒相状态，得到输出与输入相减的波形——即失真波形，如图8所示。这种方法虽不能得到定量分析的结果，但完全可定性的说明问题。反复比较几种失真波形，决定选用1N60P。1N60P是低正向压降、高速开关二极管，1mA电流时的正向压降约0.2V。

在本机中，*U*1由电压放大器WH0503内的恒压偏置电路担任，*U*2、*U*3由WH0504担任。调整图6中的RP1、RP2即可改变功放管的静态电流。

推动管由两对2SC5171、2SA1930并联，每管静态电流约20mA。末级功放管用5对NJW0281G、NJW0302G并联（每声道10对），每管静态电流为50~100mA，最大不失真输出时，每管工作电流达到400~450mA。每声道最大不失真功率8Ω时不小于120W，4Ω时不小于200W。

图6中的R71~R90和功放管射极电阻R51~R70，以及图10中的VD11~VD14 、R101、R103组成功放管电流监测取样电路。

IC4为直流伺服电路，R23、R24把36V降压后给运放提供工作电压。IC5、IC6把36V降压后给缓冲器WH0502提供工作电压。电压放大器WH0503的工作电压由低压差稳压器（LDO）做二次稳压后提供。在大信号下，信号谐波通过推动管集电极窜入电源，仅靠退耦电容不能完全滤除，增加二次稳压，使供给WH0503的电源纹波更小、更平稳。

图9所示的是由TL431构成的低压差稳压器（LDO）电路图。它的工作过程是（以正电源为例）：TL431的R端输出稳定的2.5V基准电压，决定了流经RP5和R96的电流（流经RP5的电流还有流入R端的电流I_{ref}，由于该电流很小，权且忽略）是稳定的，即输出电压是稳定的。TL431的K端有吸纳或吐出电流的双重功能，当输出电流或输入电压发生波动时，靠K端吸收或吐出电流调整VT30的基极电流，进而改变调整管VT29的ce压降，使输出电压回到稳定值。只要VT29的基极注入电流（即VT30的集电极电流）大于输出电流除以VT29的放大倍数，VT29的ce压降

就等于它的饱和压降，这样便达到了低压差输出的目的。C13对降低电源的纹波有很大作用，但不宜太大，否则会因充电电流过大而烧坏TL431。C14可尽量大一点，有利于降低纹波。该电源输出电流100mA时压差小于0.5V，纹波峰峰值小于2mV（示波器观察）。调整R95、R99可改变其额定电流，其阻值大小与VT29、VT30的放大倍数有关，放大倍数越大其阻值越小。发光二极管仅作指示用。

保护电路

本机有比较完善的保护系统：（1）开机延时接通主板电源和扬声器；（2）关机先切断扬声器然后切断主板电源；（3）输出端对地直流电压超过±1.5V时，切断扬声器和主板电源；（4）功放管任意一管电流超过10A时，切断扬声器和主板电源；（5）功放管散热器温度达到80℃左右时，切断扬声器和主板电源。电路图如图10所示。

保护电路用了2块μPC1237，一块用于控制扬声器，另一块用于控制主板电源。用2只晶体管VT39、VT40的be结串联作温度监测，调整RP7使VT38在室温时处于饱和状态，VT38的ce压降小于0.5V，经过R116、R118的降压，到μPC1237的2脚电压远小于它的开启电压0.54~0.70V。当散热器温度上升→VT39、VT40的BE结温度上升→VT38基极偏压下降，VT38进入工作区。VT38的V_{ce}上升到μPC1237的 2脚的开启电压时，继电器触点释放，扬声器和主板电源断开。C37、C42的容量决定开机延时的时间，R111、R119 的大小决定关机延时的时间。μPC1237的功能和应用已有资料介绍，此处不多赘述。每声道单独保护，保护电路的PCB和主板设计在一起，减少外接引线。

大电流继电器K2、K3、K5、K6用福特JZC-22 F3 ，它的最大转换电流为20A，可承受80A的浪涌电流，镀金触点。由于图6中退耦电容C19、C21的充电电流很大，K4也应选择能承受较大冲击电流的继电器，否则，断电后触点不易释放。本机选用欧姆龙G2R12V双触点继电器。图10中R115的阻值应等于继电器线圈绕组的阻值，这是为了两组继电器共用一组电源。

电源电路

电源电路如图11所示，各声道独立供电。2只400W环形变压器，次级为两组28V、6A和两组38V、0.5A。大电流用快恢复整流二极管MUR1560（MUR1510以上即可）双桥整流，每组40000μF电容滤波。小电流用快速整流二极管FR207（FR202以上即可）双桥整流，TL317和TL431组成并联稳压电路。以正电源为例，VTb4、VTb3组成复合管为TL431扩流，VTb2、VTb1组成复合管担任调压，Rb3与VD11给VTb1、VTb2提供be工作电压，同时，Rb3还是额定电流设置和过流保护电阻。从Cb5之后的电

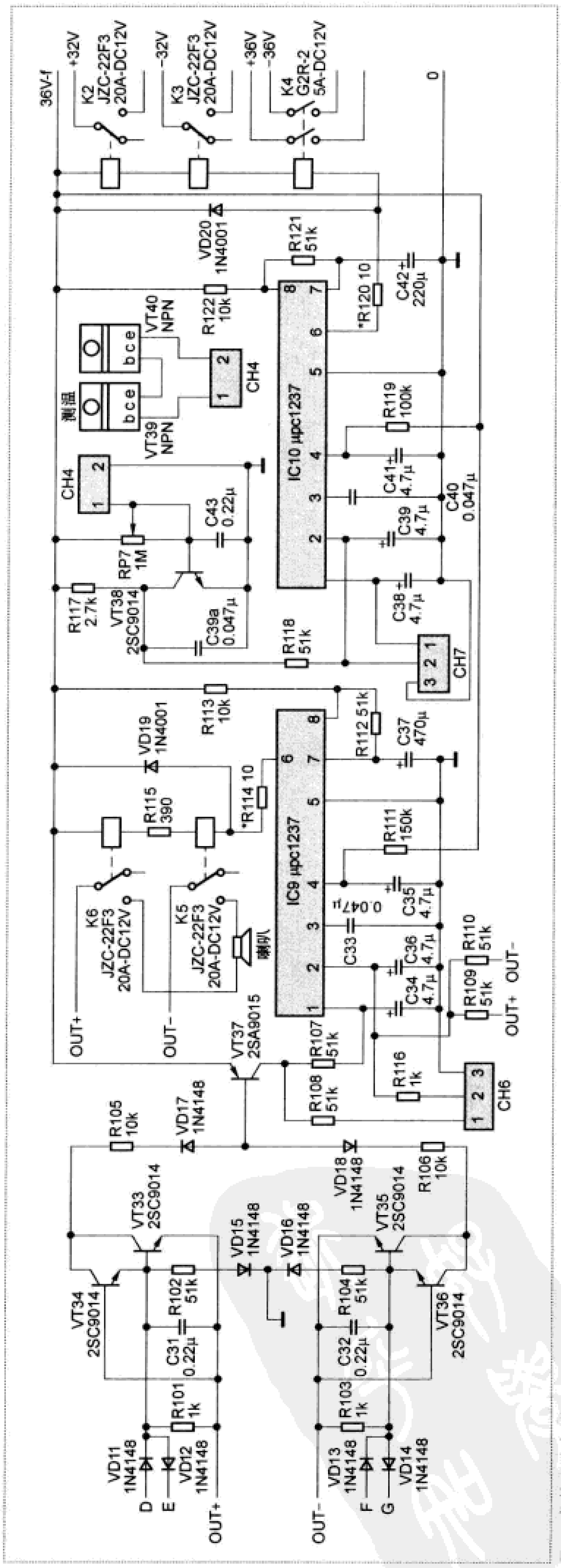


图10 保护系统电路图

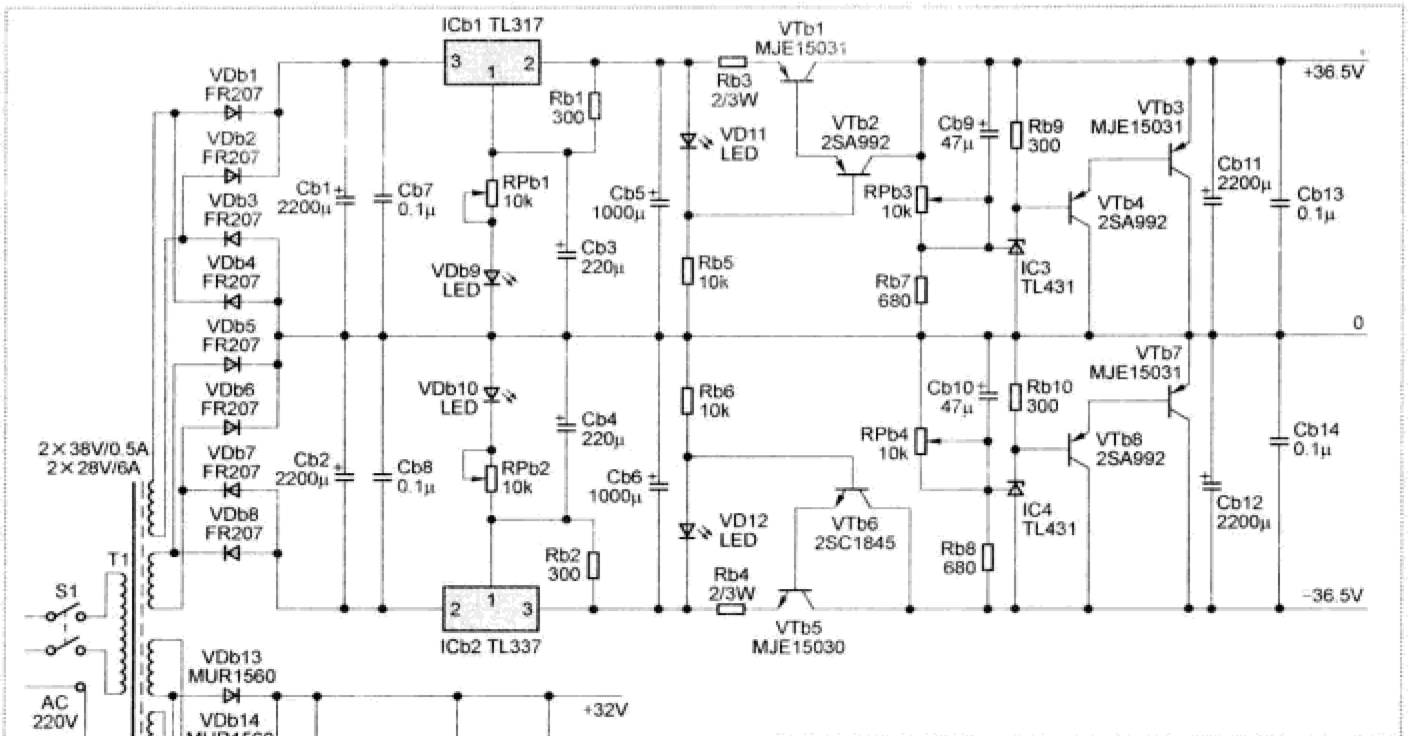
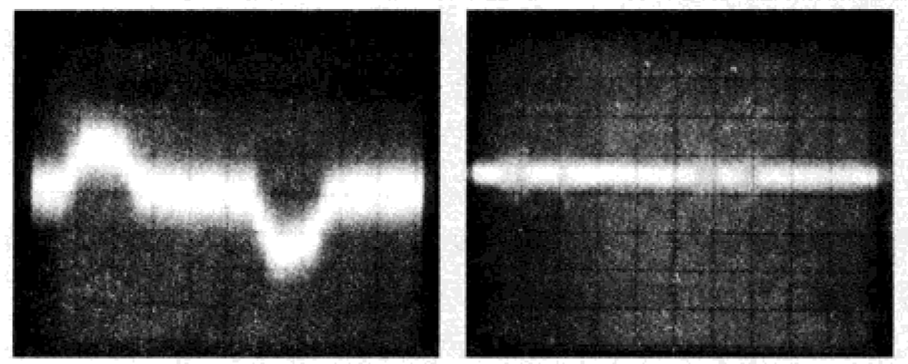


图11 电源电路



（a）不加TL317前的噪声和纹波　（b）增加TL317后的噪声和纹波

图12

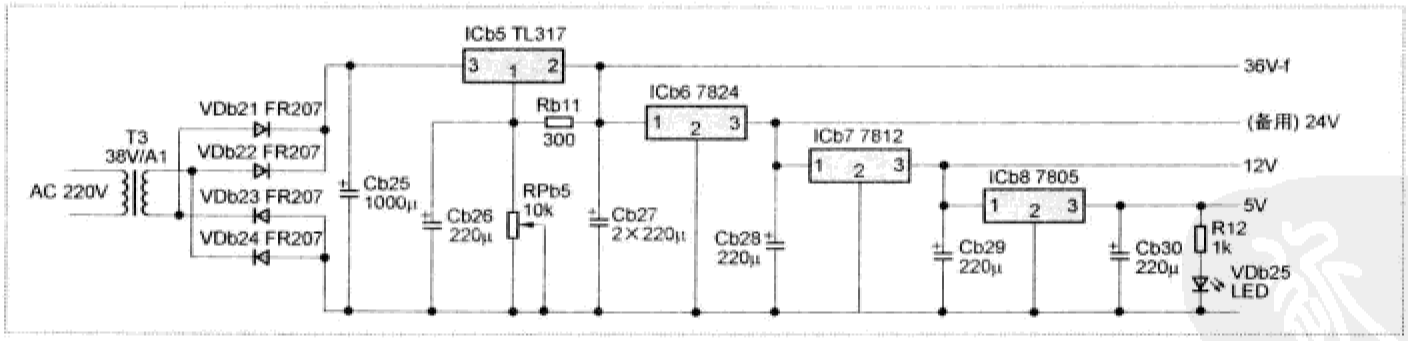


图13 辅助电源电路

路就已经是一个由TL431组成的完整并联稳压电路，为什么还要加TL317呢？只有一个理由：为了降低电源的噪声和纹波！比较图12（a）、图12（b）便可看到（示波器Y轴增益每格1mV），增加了TL317后，噪声和纹波可降低到原来的2/5。

该电源的额定输出36.5V，VTb1的CE压降1.5V，若输出300mA电流，Rb3上的压降为0.6V，这就要求TL317输出38.1V以上的电压。而TL317说明书给出的最高输出电压是37V，它能胜任吗？答案肯定的。输入48V，输出39V/300mA，连续工作8小时后测试，电压调整率、电流调整率以及纹波电压与输出36V/300mA时基本一致。如果你想节约一点成本，取消VTb1、VTb2、VD11、 Rb5也是可以的，纹波与图12（b）完全一样。但这时调整电压却非常危险，稍不小心就会烧毁VTb3。Cb3可以有效地降低电源噪声和纹波，但由于Cb3充电，会使电源启动时间延长十几秒。所以主板电源继电器K2、K3、K4 的触点吸合时间，也应延时十几秒时间，在延时期间，±36.5V稳压电源空载，VTb3将承受较大的功率，应选择耗散功率50W以上的中（大）功率管，VTb1可用耗散功率20W的其他中功率管。

辅助电源如图13所示：40WE形变压器，次级38V/1A，稳压

后36V、5V供继电器，12V供风扇。在交流220V输入端接了一个250V/8A滤波器，是拆机旧货。

装配与调试

印制板用基板2mm厚，铜皮75μm厚的单面覆铜板。单面覆铜板在线路复杂时容易产生较多的跨接线，但有利于元器件的更换。跨接线虽然增加了焊接点，但却使布线更加合理。在PCB设计中考虑了“新甲类”、“甲类（甲乙类）无大环路负反馈”、“甲类（甲乙类）有大环路负反馈”三种类型的兼容，以适应DIY对不同类型放大器的比较和选择。

1. 主板的跨接线大部分长度和0.5W电阻的长度一样（12.7mm），用Φ0.8mm的裸铜线折制，J19、J20、J21、J22用Φ1.2的裸铜线折制。J19只焊一端，另一端接到与其对应的接线端子上。主板和电源板的大电流引线，在焊接面衍焊一根Φ1.5mm的裸铜线，如图14、图15所示。

2. 先装配和调整电源。电源部分采用国产金属膜电阻，除Rb3、Rb4其余全部为0.25W。10000μF/63V电解电容是“松下”品牌的，其余电解电容是“尼吉康”品牌，它们均为普通级别而非“补品”。MUR1560的引线折弯90°，拐点选在离根部1.5mm处。MUR1560、中功率管、三端稳压器从印制板焊接面插入焊接。MUR1560散热面离印制板距离8mm。阻容元件遵照常规焊接。焊接好的电源板如图16（a）、图16（b）所示。

4组36.5V稳压源分别调整：将Rb3换成0.5W 30Ω的电阻，RPb3调整到8kΩ左右的位置。检查焊接无误即可通电。调整RPb1，在Rb3输入端电压为38.5V。调整RPb3，使输出电压达到36.5V。Rb3换回2Ω/3W电阻。4组大电流电源也应分别通电检查，输出空载电压为37V左右。把MUR1560、中功率管、三端稳压器固定在散热器上，如图17所示，并逐一检查它们与散热器的绝缘情况。

为了整机装配和调试方便，变压器装在一块独立的支架上，如图18所示。装好变压器屏蔽罩，如图19所示。将散热器固定在屏蔽罩上，如图20所示。连接好所有引线，大电流电源

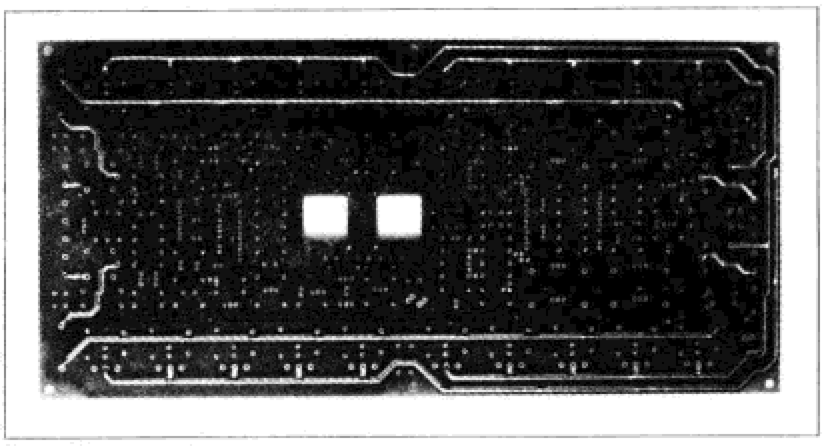


图14 主板焊接面

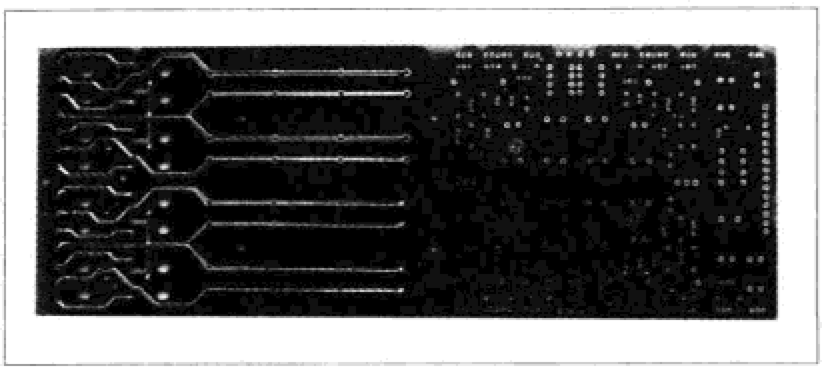


图15 电源板焊接面

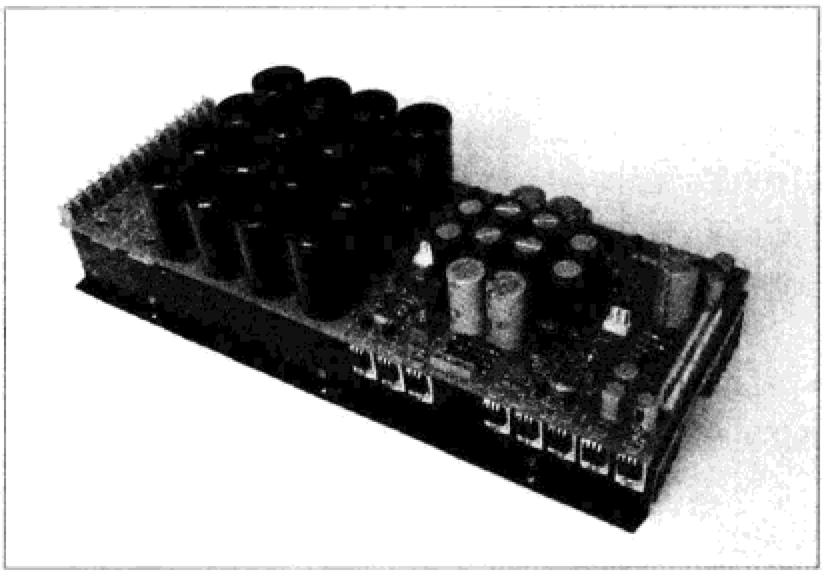
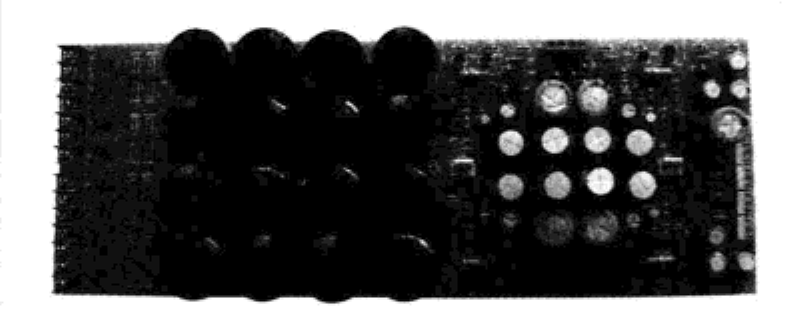


图17 电源板固定在散热器上


（a）电源板元件面

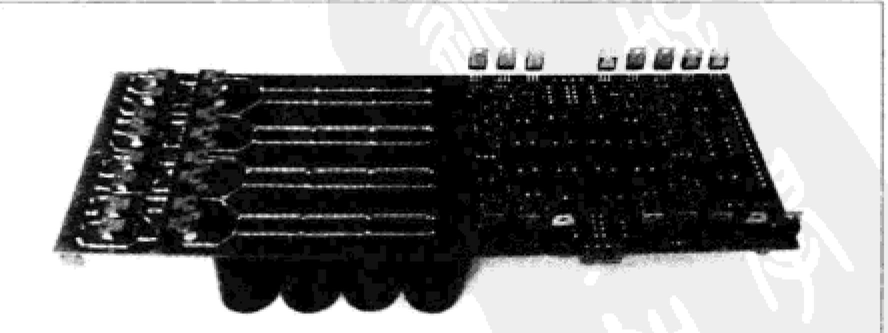

（b）电源板焊接面

图16 电源板

接12Ω负载，小电流电源接150Ω负载，分别检查和调整各组电压。

3. 有了电源就可以装配和调整主板了。图6中的所有三极管都应测试配对，误差自然是越小越好。电阻用0.5W金属膜电阻，误差小于1%。小电容用CBB薄膜电容。除模块和大功率管之外，其他元件按高低依次焊好。确认无错焊、漏焊、虚焊，接通+36.5V稳压源，调整RP5，在IC2的13、14脚处测试，LDO输出36.0V。接入360Ω负载，电压下降应小于1%。否则可改变R95的阻值。R95不宜取值过大，以免烧坏VT30。调整RP3，使IC1的10脚对地电压为12.0V。接入-36.5V稳压源，调整RP6，使IC2的5、6脚处电压为-36.0V。负载调整率不够，改变R99的阻值。R99不宜取值过小，以免烧坏VT32。调整RP4，使IC1的5脚对地电压为-12.0V。检查IC4的8、4脚处的电压，±12~±15V即可，电压由R23、R24调整，正、负电压相差小于50mV为宜。

4. 保护电路的调整：VT39、VT40焊好后接入CH4，引线要用耐高温绝缘导线。接通36V辅助电源，调整RP7，室温下IC10的2脚电压调到0.4V左右，加热VT39、VT40并监测其温度，80℃左右时继电器触点释放，否则应调整RP7，重新设定室温下IC10的2脚电压。验证开机、关机时继电器触点是否吸合或释放；在“OUT+”、“OUT-”端和地之间接入1.5~2.5V（-1.5~-2.5V）电压，验证继电器触点是否释放；过流保护的验证是从D、F点（VD11、VD13正极）和输出端之间，接入5V可调电压，从E、G点（VD12、VD14负极）和输出端之间，接入-5V可调电压，慢慢调整电压，看继电器触点是否释放。连接CH6和CH7，重复以上验证。温度监测要等大功率管固定在散热器后，再仔细调整。若要调整过流保护起始值，可改变R101、R103的阻值。

5. 印制板焊接面有8组方形焊点，在元件面对应位置印有A、a；B、b；C、c1、c2、c3；H、h1、h2字符，这些方形焊点的不同连接，构成不同类型的放大器。

A. 新甲类（同步偏置）放大器的连接：A→a，H→h1，c1→c2。

B. 甲类（甲乙类）放大器（无大环路负反馈）的连接：断开二极管VD1~VD8、R15、 R16、J7、J8，用长导线连接A→b，连接C→c1，c2→c3，VD2、VD4、 VD6、VD8的位置用10Ω电阻或跨接线连接。

C. 甲类（甲乙类）放大器（有大环路负反馈）的连接：断开二极管VD1~VD8、R15、R16，连接A→a，C→c1，VD2、VD4、 VD6、VD8的位置用10Ω电阻或跨接线连接。

焊好IC1、IC2、 IC3，按新甲类放大器连接方形焊点，将c3点临时与c1、c2点焊在一起。接通±36.5V稳压源，检查IC2的7、8、9、10脚对地电压，电压应为1.45~1.5V，8、9脚为正，7、10脚为负。调整RP1、RP2，使R25~R28上的压降约为0.65V

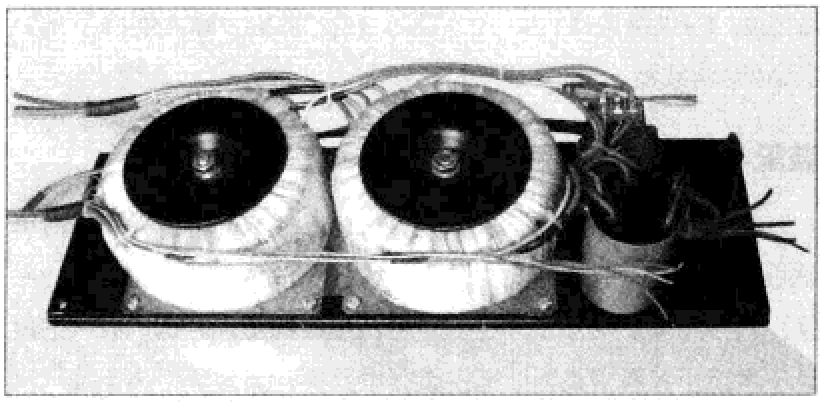


图18 变压器固定在支架上

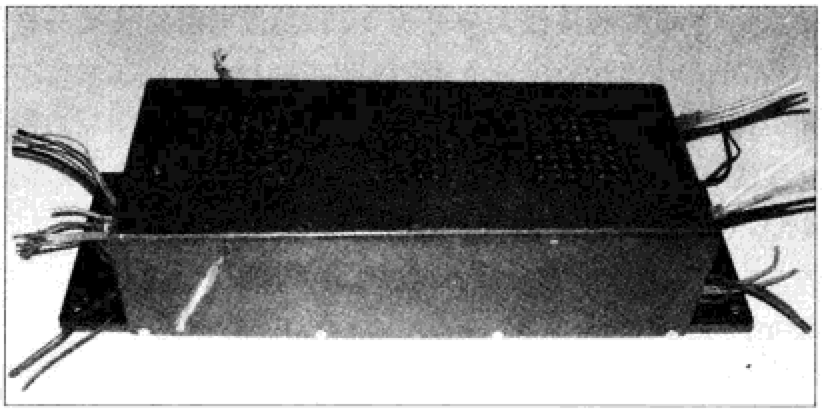


图19 装上屏蔽罩

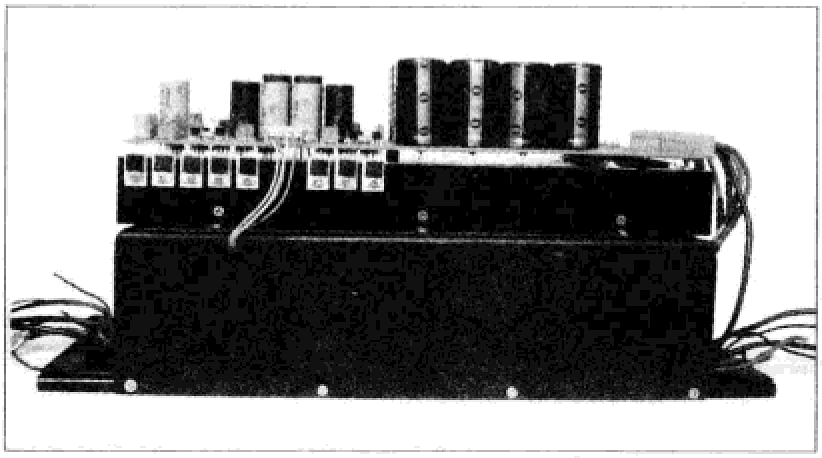


图20 装配好的电源

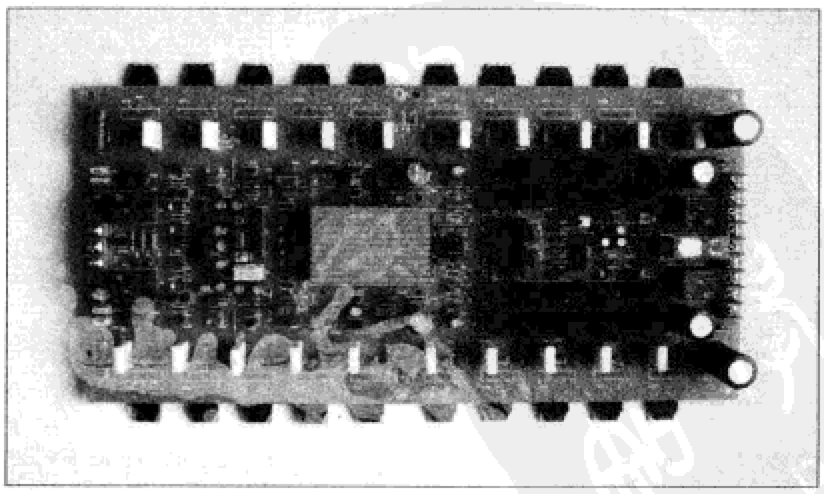


图21 焊好的主板

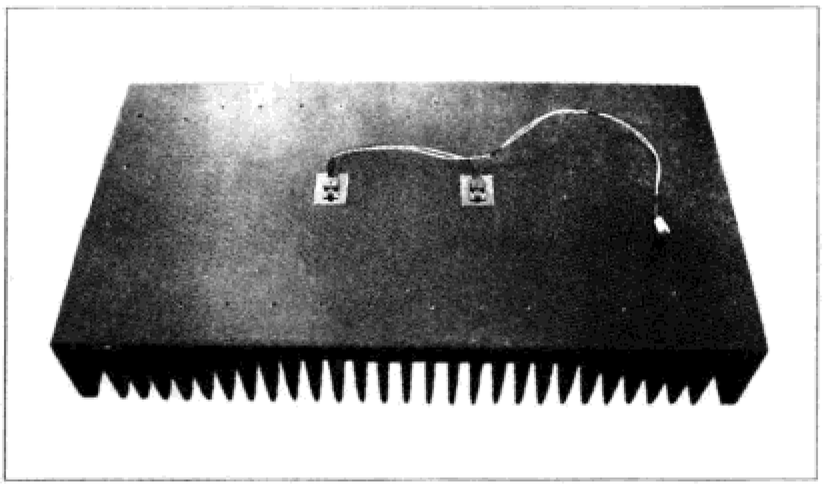


图22 装好测温管的散热器

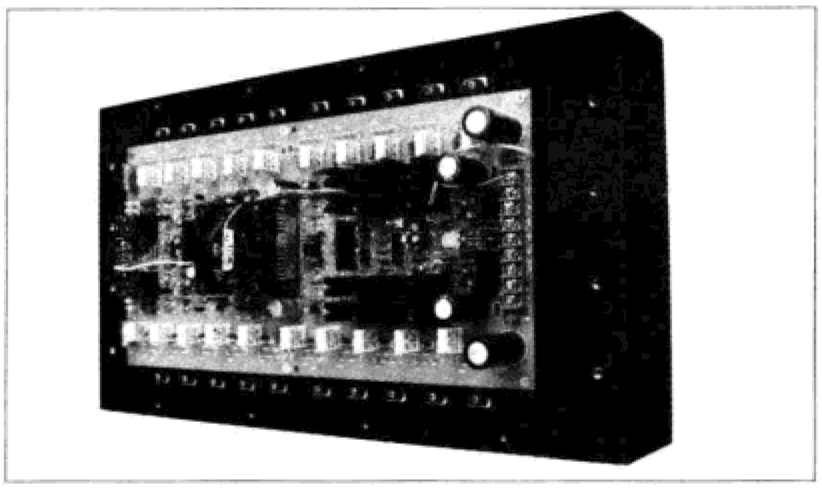


图23 装好主板的散热器

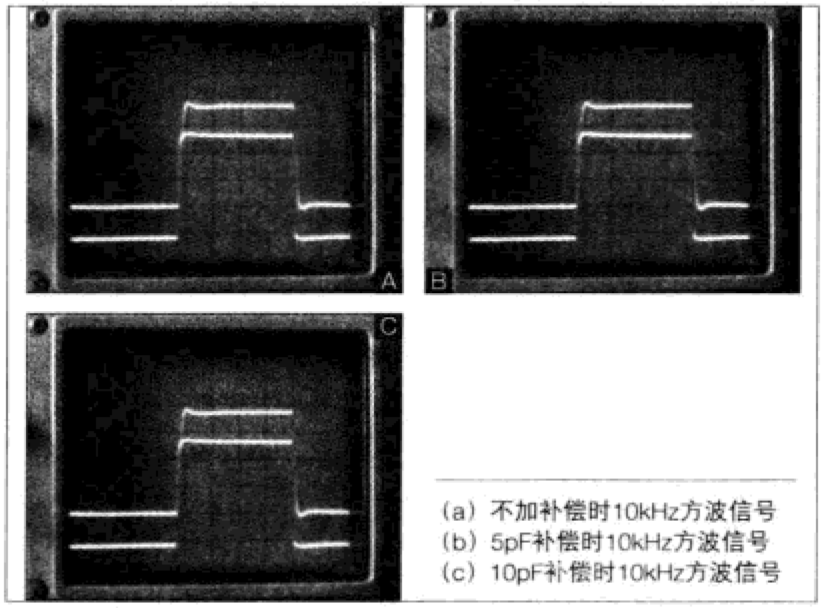


图24 补偿电路对高频过冲的影响

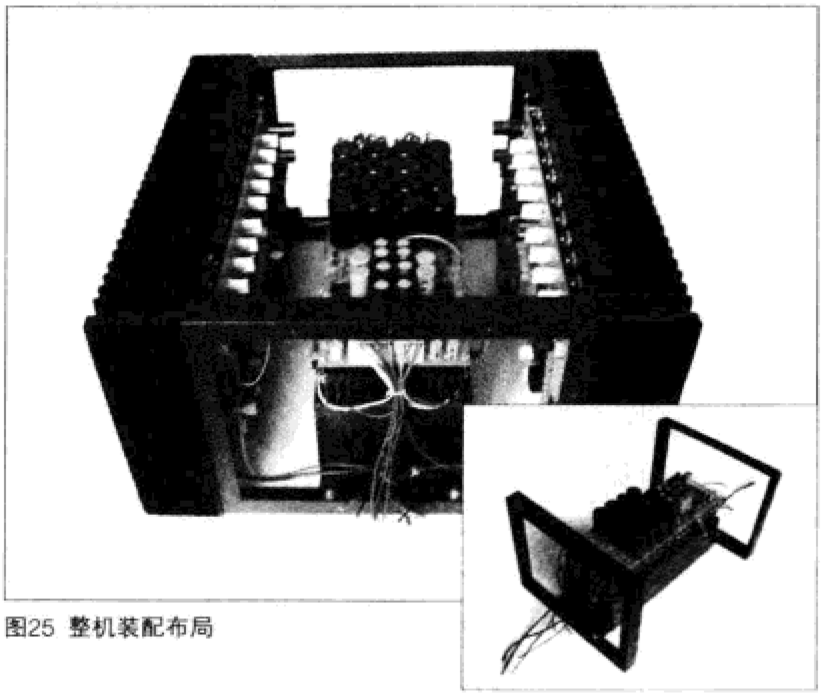


图25 整机装配布局

电源装在框架上

为宜。若有示波器和信号源，观察R25与R26、R27与R28的节点处，有无自激、噪波大小以及输出波形。1小时后，推动管散热器微温，IC2散热器热而不烫。断开临时焊点c3。大功率管从印制板焊接面插入焊接，焊接好的主板如图21所示。

在散热器上先固定VT39、VT40，如图22所示。然后固定主板和大功率管，VT39、VT40和大功率管都衬有涂好导热硅胶的云母绝缘片，如图23所示。检查VT39、VT40和大功率管与散热器的绝缘性能，连接好相关引线。接通电源，观察大功率管有无过热现象。若正常，3~5分钟后调整RP1、RP2，使大功率管射极电阻上的压降为0.02V左右，各射极电阻上的压降会有差异，如果大功率管配对良好，差别一般在5mV以下。待散热器微温再调整一次。在正、负输出端之间接8Ω 100W负载，输入端加1kHz音频信号，示波器观察输出信号。逐渐加大输入信号，射极电阻上的直流电压也在不断上升，这说明“同步偏置电路”已起作用。在最大不失真输出时，测得射极电阻上的压降约0.09V。将输入信号回调1/4，开机“烧”着，监测散热器温度，到80℃时调整RP7，让温度保护起控。考虑到散热器的温度梯度，功放管温度会略大于80℃，但不会超过90℃。大功率管静态电流和温度保护的调整，可能需要反复几次才能搞定。

音频功率放大器的地线和星形接地“点”的处理，也是DIY需要关注的问题，处理不当会增加噪声，甚至带来讨厌的交流哼声。本机从印制板设计到整机装配都十分重视，大电流地线、稳压电源地线、辅助电源地线，以及信号地、输出地都是独立走线。各种地线在机壳底板的接地点汇合。

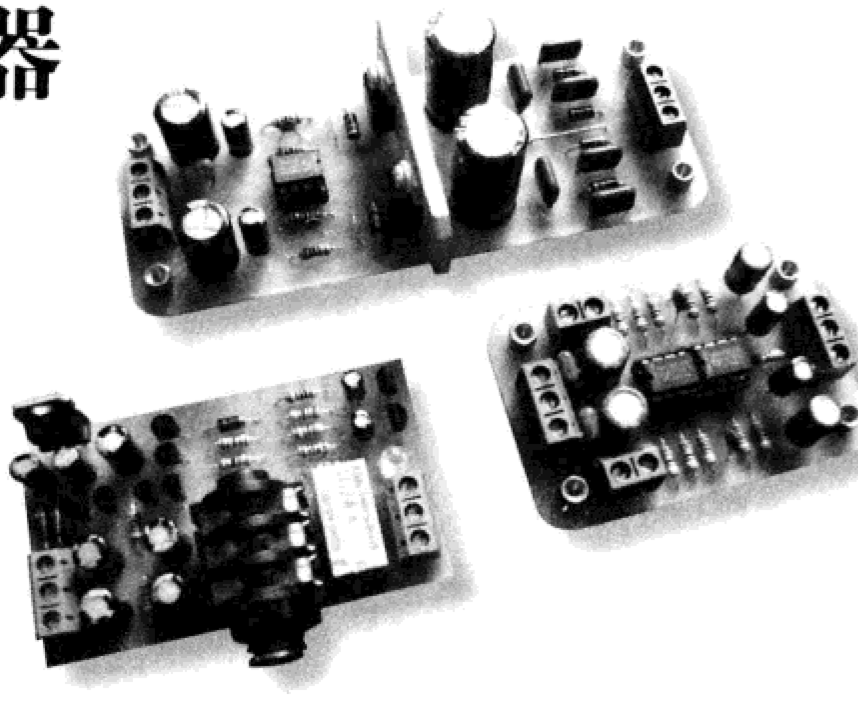
图6中的补偿电容C1、C2取5~10pF即可，不加也看不到任何振铃现象，但有一点高频过冲。增加补偿电容后，能改善高频过冲，如图24所示，但会影响转换速率和频响。8Ω负载，70W测试幅频特性，5pF时从70~100kHz下降0.6dB，10pF时60~100kHz下降0.9dB。

散热器是长450mm、宽250mm、厚75mm的整体铝型材，可直接作机箱侧面板。用20mm×30mm、厚3mm的不等边角铝，做2个247mm×280mm的框架，按图25装配。到此整个功放的制作基本完成了，OK!

制作高保真耳机放大器

——对于47耳放的完美改进

◎林伟淏



之前一直折腾桌面音箱，现在打算换换口味，用耳机聆听音乐，买了森海的HD595耳机，于是决定自制一个耳机放大器。在参考了大量的耳机放大器资料之后，最终决定在47耳放电路的基础上进行改进，制作一个比较完美的耳机放大器。

放大部分

1. 电路设计

47耳放的电路如图1所示，据说这是一位外国人设计的电路。因为电路中有较多的元件以47为参数，所以称作47耳放。从图1中看出，第一级运放进行负反馈，控制放大倍数进行比例放大；第二个运放进行电压跟随，降低放大器内阻，增加输出电流，并做了声音修饰。两个运放输出经过两个47Ω匀流电阻输出至耳机。因为反馈取样点在47电阻之后，所以不用考虑电阻带来的损耗。

通过对47耳放电路的研究，最终改进的电路如图2所示，电路没有添加音量电位器，只做了放大部分。这样一来功能比较独立，可以方便地进行各种组合。

47耳放原设计使用的运放是OPA2132，这个运放是FET输入型的，输入阻抗极高，而且在低电压下可以正常工作，失调电压与失调电流极小，算是比较高档的运放了。当然OPA2132的价格也是比较高的，作为我这样零收入的人是很难接受的，于是我选用了比较容易买到的NE5532。虽然该运放的指标比OPA2132相差很多，但是工作于±15V时，总体来说音色还是比较讨人喜欢的。单片NE5532耗电相对较大，两片并联就更不用说了，双15V下耗电可想而知，这就意味着所制作的耳放将要从便携式耳放转向台式耳放。

由于NE5532失调电压较高而且又是NPN管输入，如果使用原设计必然会引来较大的输出中点漂移，经过测试最大有30mV之多。所以我在反馈电阻的位置串联了两个电容（C03、C04），将直流反馈变为交流反馈，这样可以使输出中点控制在1mV以下。若换成其他运放，只要没有中点问题，这个电容可以不用（此位置可以直通）。

反馈采样部分依然从输出取，在R05、R06上面并联了C05、C06，其作用是超前补偿，如不需要的话可以留空。

电源部分增加了两个退耦电解电容（C07、C08），并在两个电解电容上并联了小电容（C09、C10）。最后增加浮地电阻R。浮地电阻可以吸收一部分地线的干扰信号，让信号地更加纯净。当然还有一个作用，即在布线的时候可以在视觉上隔离信号地与电源地，为合理布线带来方便。

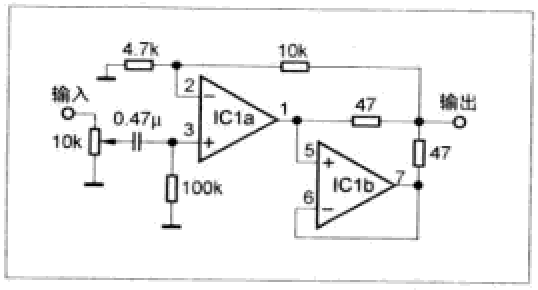


图1 47耳放电路

2. PCB设计

在网上可以看到很多47耳放的PCB设计，有不少PCB好像只注重美观而忽略了对布线的要求，最终导致一些电路声音不好，严重的甚至出现交流声。所以决定设计一个比较完美的PCB，以便把47耳放这个电路的性能发挥得更好。在吸取了别人的经验教训之后，决定采取如下措施：（1）退耦电容两两一组，原则上是电源经过退耦电容再连接至IC，这样可以有效吸收放大器工作时产生的耦合信号，也可以避免由于电源线过长引起干扰信号进入放大器。（2）地线主要分为电源地和信号地（标注G的是信号地），这两个地也可能是连在一起的，但是作用不同。电源地主要提供大电流电源，一般功率输出地都要接这根线上。信号地主要是提供参考电位，电流很小，所以也比较容易受到干扰。一般说来越靠近电容引脚的地方，电容对交流信号抑制作用越强，所以两个并

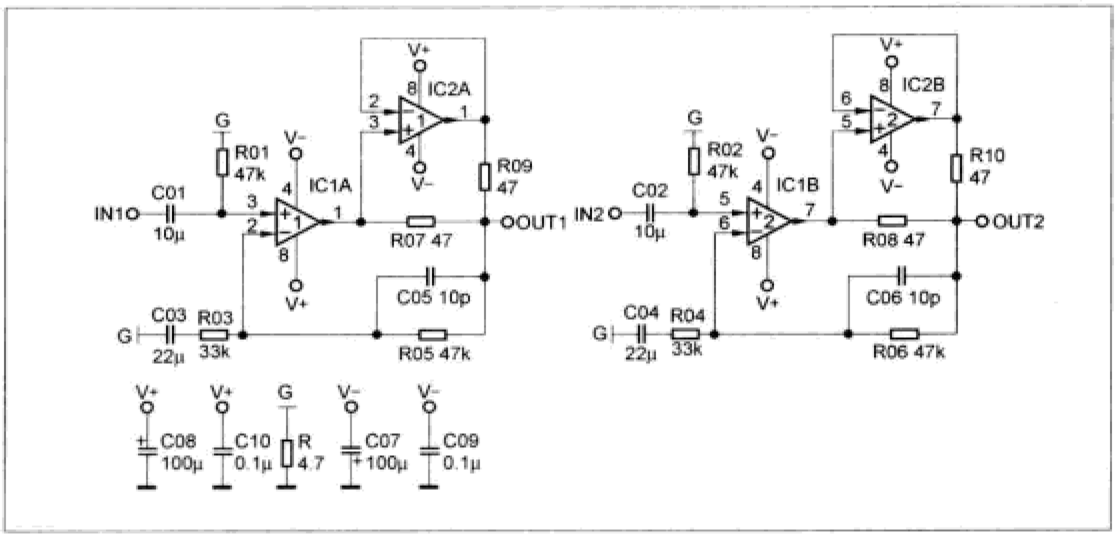


图2 改进后的耳放电路（标G的地为信号地，没标注的地为电源地）

联在电源上的电容交点可以认为是比较稳定的地，放大器输出的地一般从这里引出。而信号地上各点到电容地交点的途中是不能有大电流存在的，否则会将耦合信号注入信号地，从而干扰基准电压的稳定，造成声音不耐听甚至有严重的交流声等。在地线处理上我将两个退耦电容交点作为电源地，并采用一点接地处理。又从交点上引出一根地线经过浮地电阻拉到前面作为信号地，使信号地与电源地彻底隔离，并提供稳定的基准。（3）输出端是两个运放并联的，每个运放又接有匀流电阻。反馈采样避开两个输出电阻的线，直接从输出端子引脚引出，这样反馈取样线上就不会出现较大电流，从而保证了反馈取样的准确性。整体布线采用酷似20世纪70年代手工布线风格（如图3所示），比较美观。

3. 元件选择

不同的元件会造就不同的声音，要确定放大器有一个比较合理的参数，实际的听感是不可缺少的。经过4个整夜的试听，终于确定下来自己认为比较合理的参数了。

4个匀流电阻（R07、R08、R09、R10）理论上电阻值越大，两个运放输出电流的一致性就越好，但是输出电流能力也随之下降。本人测试过10Ω、22Ω、33Ω、47Ω、100Ω这样的参数，听感基本没有差距，所以维持原设计用的47Ω电阻。

反馈网络的电阻原设计为4.7kΩ、10kΩ，放大倍数为3倍多点。实际测试感觉增益过高，后来改为33kΩ（R03、R04）、47kΩ（R05、R06），放大倍数为2.4左右，虽然放大倍数降低了，但依然能保证正常的放大。

C05、C06选用10pF瓷片电容，其主要作用是针对高频。如果不装这两个电容，也感觉不出什么区别，为了稳妥起见，我还是安装上这两个电容了。

C03、C04用22μF无极性ELNA电解电容，经过计算，此时截止频率为0.22Hz。实测对低频影响不大。由于此电容的存在，反馈模式变为交流反馈，所以中点可以稳定在1mV以内。不同的IC对于中点表现也有不同，失调电压低的运放可使用直流反馈，中点也会很接近零。

输入对地电阻R01、R02的参数与反馈电阻一致，采用47kΩ，对于BJT输入的运放，可以使两个输入差分管的偏置相同，这样可更好的稳定中点。47kΩ相比之前100kΩ小了很多，同时也增强了抗干扰能力。

输入耦合电容使用10μF无极性ELNA电解电容。经过计算，低频截止频率为0.34Hz，对声音也不会造成影响。

最后，浮地电阻为4.7Ω，电源退耦用100μF的ELNA电解电容，并联飞利浦0.1μF小电容。具体的元件选择参数如图2所示，安装好的电路板如图4所示。

电源部分

1. 电路特点

47耳放设计为标准OCL放大器，自然是需要双电源供电的。最简单的电源设备可以用双电源变压器直接经过整流桥或者4个整流二极管，并采用两个电解电容滤波得到双电源。虽然这种电源结构简单并可以提供较大的瞬间电流，但是电源的稳定性以及抗干扰能力较差。一般情况下大功率功放适合选用这种电源，而对电源质量比较严格且功率比较小的耳机放大器

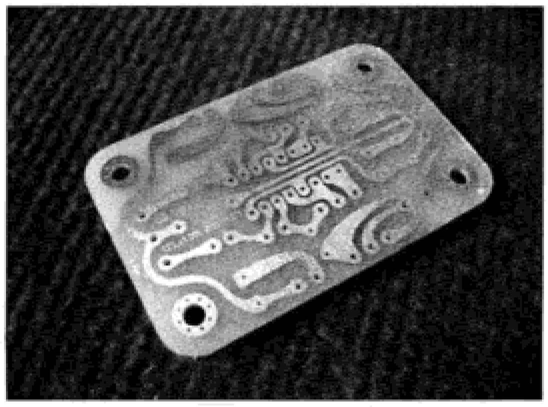


图3 耳放电路的PCB

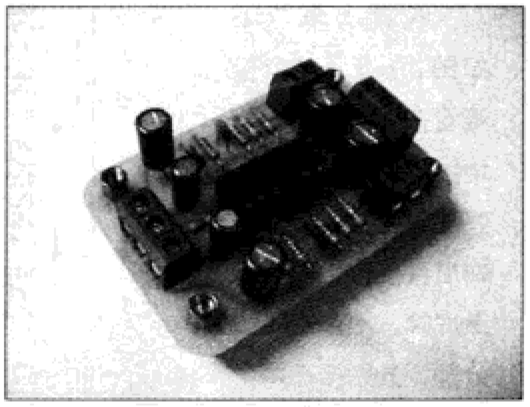


图4（a）安装好的放大电路板

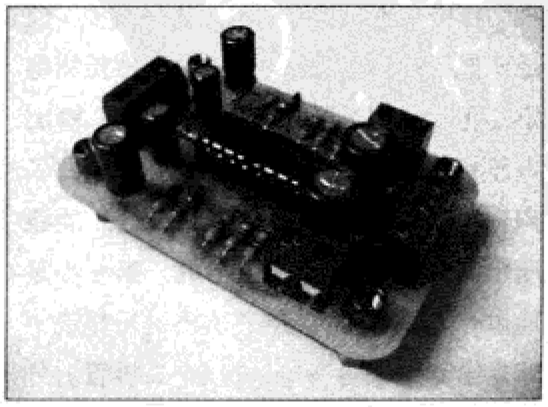


图4（b）安装好的放大电路板

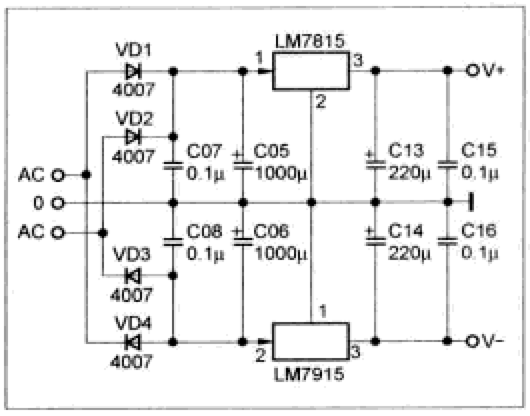


图5 稳压电路

用这种电源就不太适合了，相对比较合适的就是线性稳压电路了。NE5532理想电压为双15V，对于±15V电源有专用的三端稳压IC，比如LM7815、LM7915系列，使用起来非常方便。

稳压电路如图5所示，4个整流二极管VD1、VD2、VD3、VD4和2个滤波电容C05、C06形成基本的整流、滤波电路，在大电解电容上并联小电容是我的习惯，这样做可以降低电容的高频内阻，减少电容温升，提高电容寿命，而且对瞬间放电电流也有提升。此时，电容C05、C06两端分别有大约21V的直流电压，形成双21V电源。三端稳压器可以理解成一个具备分压功能的可变电阻，这个神奇的电阻会根据参考端与输出端之间的电压对内部分压电阻进行动态调整，使得输出与参考电压维持在一个定值。

LM7815与LM7915分别是±15V的三端稳压器，将参考端接地，输入双21V电源，通过两个IC便可以得到稳定的双15V电源。为了降低电源内阻，提高电源瞬态相应，在输出端分别并联了两个小电容。

虽然用三端稳压器构成的稳压电源相比直接整流、滤波的电源要好很多，但是还是存在一些弊端。三端稳压器虽然稳定，但是波纹抑制却不是很出色，输出电压检测灵敏度也不够强。于是又做了用运放做伺服的稳压电路，改进后的稳压电路如图6所示。在图6中，第一步是通过4个二极管形成的整流桥进行整流，然后给滤波电容充电，在4个二极管上分别并联了小电容，电容功能类似旁路电容其作用，即过滤掉整流二极管开关时产生的谐波。电容的参数要求不是很严格，取0.001~0.1μF均可。后面的滤波电容同样也并联有小电容。电容后面接三端稳压器，在三端稳压器输入、输出端接有反向的二极管，其作用是消除电路中由于感性元件的存在产生的反向电动势。而稳压管的参考端并没有接在公共地上，取而代之的是运放的输出端。这个运放便是伺服电路的核心。

由于稳压器的功能是始终保证输出与参考端电压不变，但是在临界状态下输出端快速、小幅度的变化IC本身并不能快速地做出反应。这里用运放构造了一个放大35倍左右的反向放大电路，参考点为地，输入端经过10μF电容接到输出端上。这样，在输出端形成小范围的微弱变化经过运算放大器35倍放大后作用在三端稳压器的参考端上，相当于对误差值进行了34倍放大，从而提高了对误差信号检测的灵敏度，也提高了整个电源电路对交流波纹的抑制，增加了电源的稳定性。

2. PCB设计

电源部分的PCB设计的关键是要注意地线和电容的接法，地线尽量做到“一点接地”，即根据地线的作用把不同功能的地点最终汇聚到电容的交点上，这样可以减少地线的干扰。电容尽可能在引脚上形成放射状布线，这样可以使电容的性能发挥到最佳状态。

设计出来PCB如图7所示。4个整流管在PCB最前端，地线用跳线飞入并与整流管并排。整流管输出直接接电容引脚最底端。地线由飞线分开，分别接在两个电容接地点，再从电容处引出在后面电路下方汇聚，这样可以更好地过滤掉前面的波纹，整流管输出直接与电容连接。电压取样、运放供电也是从电容单独引出，把每一根线尽可能地独立开。在这里我承认自己有些叫真儿，虽然这种布线效果较好，但是浪费了大量面积，增加了做图的难度，而改善的效果却比较小。如果大家自己设计，可以随意些，大电流的走线相对独立就好了。焊接好的电源电路板如图8所示。

整流管用的最常用的4007，并联在整流管上的电容采用的是0.1μF的CBB，看外形疑似松下电容，见图9。

由于电源对这个运放要求比较高，因此最好采用转换速率比较高、输入阻抗较大的运放。而我手里最多的就是飞利浦的NE5532，所以就用上了。如果有机会再做，我会选用LF353，见图10。

滤波电解电容采用的是国产电容（因电路对这个电解电容要求不是很高），输出端选用的是松下FC系列高频电解电容，并在上面并联0.1μF的飞利浦CBB电容。

做好的电源板准备上电测试。变压器用的是旧音响器材上拆下来的双14V变压器，见图11。

上电后测量正、负电源电压，经测量正电压为14.89V，负电压为14.92 V，

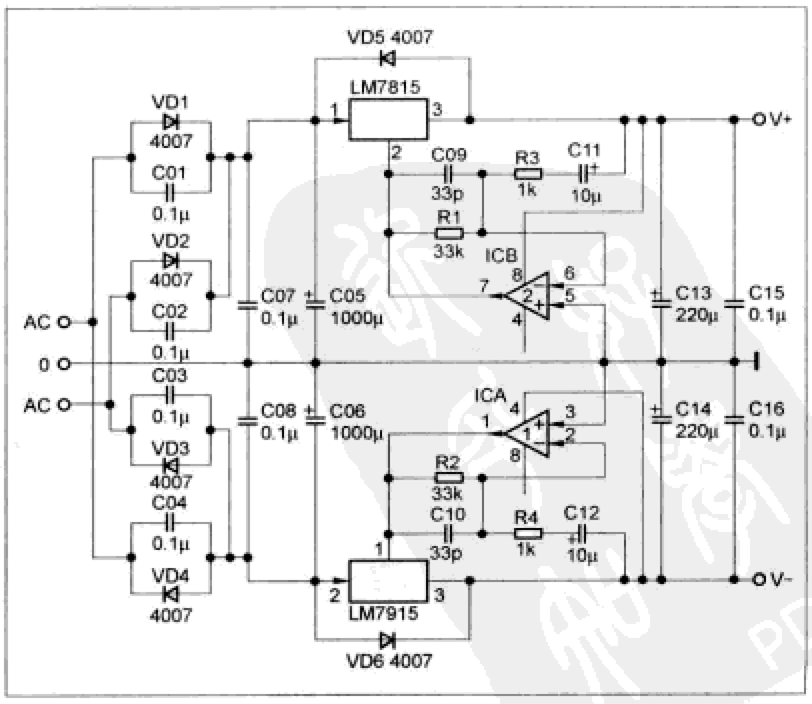


图6 改进后的稳压电路

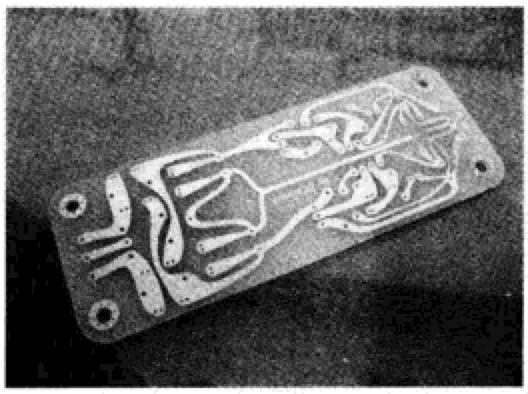


图7 电源电路的PCB

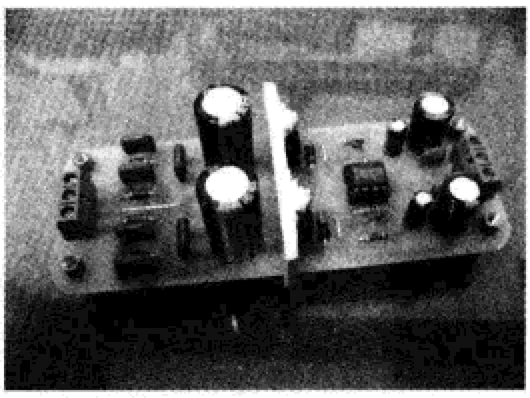


图8 安装好的电源电路板

图9 电源板上的整流部分

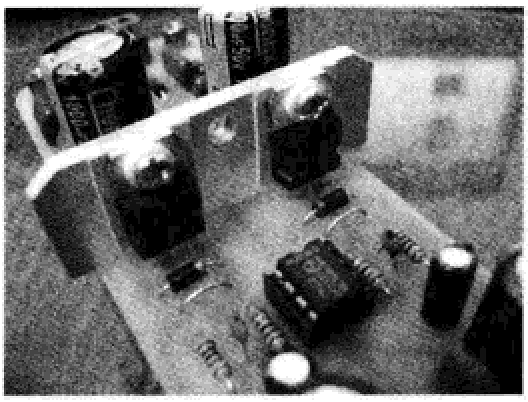


图10 电源板上的运放部分

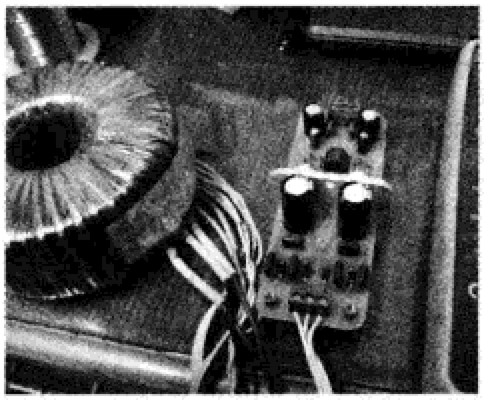


图11 电源变压器

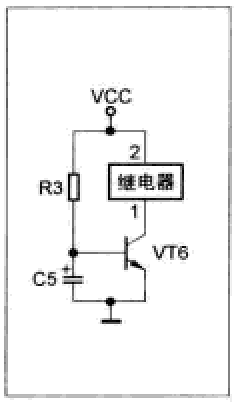


图12 延时电路的基本结构

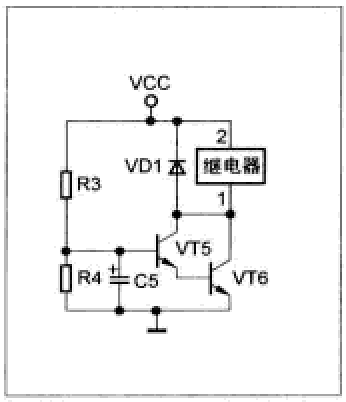


图13 在基本结构略作改进

测试合格，电源部分完工。

耳机保护电路

47耳放原设计使用供电电压较低的运放OPA2132，用电池供电，主要作为便携式耳放使用。而我这次做的耳放选用供电电压较高且耗电较大的运放，而且使用双15V稳压电源，相比电池供电的耳放危险不少。由于电压较高所以使用起来提心吊胆，担心耳机会因电路出问题而牺牲，所以又制作了耳机保护电路。

耳机保护电路主要是保护耳机的安全。其功能通过一个继电器实现，并在可能威胁到耳机安全的时候迅速断开耳机与电路的连接，起到保护耳机的目的。这一点与扬声器保护电路类似。主要的作用有三项：开机延时、关机瞬断、中点检测。

开机延时就是在开机的一段时间之后再接通耳机与电路，目的是跳过放大器刚开启时产生的冲击，以便保护耳机的安全。

关机瞬断与开机延时类似。由于电源的滤波电容的存在，在切断电源之后还会继续工作一段时间，虽然随着电容的放电，供电电压会越来越低，最后会产生一定的冲击。而关机瞬断也是为了在冲击产生之前切断耳机与电路之间的连接，从而起到保护耳机的目的。

中点检测并不像前两项功能每次开、关机都会启动，只有在放大器输出直流的时候才会启动保护。我们知道，耳机放大器输出信号是交流的，而输出端对地直流电压要尽可能接近零。如果耳机放大器输出直流电压则会对耳机造成一定的伤害，如果放大器输出管损坏、短路或断路都会使输出端产生近似于电源电压的直流电。对于双15V供电的47耳放来说，出现这样的问题无疑对耳机是毁灭性的破坏，所以一个完善的保护器需要具备中点检测电路。

保护器主要是通过继电器实现的，在继电器对地端加了三极管用于控制继电器的开关。

首先要想到的就是延时启动的控制，延时通过电容充电实现，基本结构如图12所示。

电源通过电阻给电容充电，电容刚开始充电时可视为短路，当电容电压提升至足以开启三极管的时候，三极管导通使继电器吸合，从而实现延时启动的作用。因该电路仅仅是最简单的基本电路，所以还需要做进一步完善。

在图12的基础上增加了一个三极管与前管构成达林顿结构，见图13。这种结构可以增大整体电流放大倍数从而降低达林顿管的驱动电流，使继电器更容易被控制。在C5上并联R4，在充电过程中与R3分压使得C5电压不会一直升高，确保VT5、VT6基极电压不至于过高而击穿发射结。在保护器断电期间，R4也可以放掉C5上的电荷，保证下一次延时启动的稳定工作。继电器线圈的两个引脚根据电压的方向反向并联了二极管，这个二极管是非常必要的。因为继电器线圈本身就是一个大电感，二极管可以吸收线圈断电瞬间产生的比较大的反向电流以保证电路工作稳定。VT5基极还可以做保护电路的控制端，当VT5的基极处的电压降低至小于

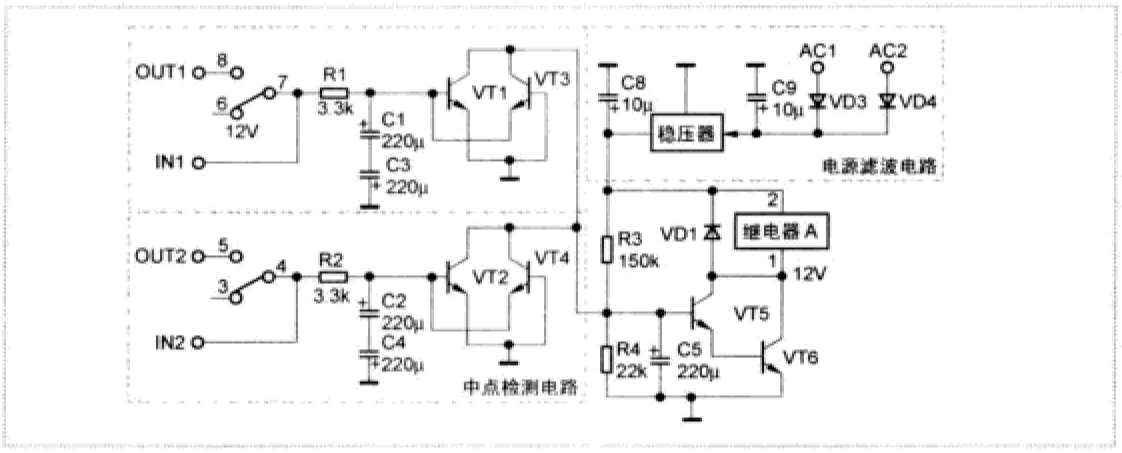


图14 耳机保护电路（完整版）

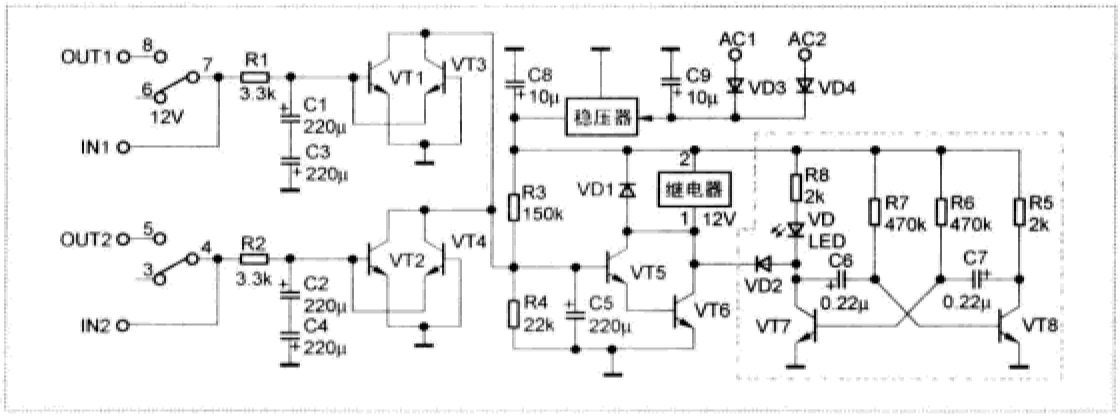


图15 耳机保护电路（完整版+闪烁指示电路）

两个三极管开启电压时，保护电路工作，继电器断开。

关机瞬断是通过保护器供电瞬间切断实现的。放大器使用的稳压电源滤波电容较大，关机后还会提供一段时间的电源，但是此时变压器已经不工作。如果变压器有另一个绕组给保护器供电而滤波电容较小的话，保护器会提前关断起到瞬断保护作用。

在供电端要增加电源滤波的电路，该滤波电路不需要很严格，使用半波整流即可，我多加了一个二极管这样可以方便双电源供电时候使用。为保证继电器稳定工作，增加了一个与继电器电压值相符的三端稳压器，见图14中右上角的虚线框中的电源滤波电路。

中点检测就是对输入信号对地电压进行检测。当输入信号与地线的电压差到达一定程度时保护启动。监测中点不仅要检测正电压，负电压也一定要检测出来，最终转化为同样的信号控制继电器关断。至此，首先想到的应该是整流桥，的确整流桥可以将正、负电压信号统统转为同一个方向，但是缺点也是显而易见的。第一，二极管压降比较大，一般在0.7V左右，这样一个桥堆的监测下限也被提高到1V以上。第二，二极管整流出来是正向的电压信号，不能直接给前面VT5信号控制继电器。第三，二极管的恢复速度相对较慢，所以对信号检测速度造成影响。于是，我便采用了另一种检测电路，增加中点检测的电路，如图14所示。

用两个三极管对电压进行检测。三极管开启电压较低（通常只有0.5V），而且速度较快。当没有直流输入或直流在±0.5V以内时，VT2、VT4 均不导通，不影响继电器吸合。当输入电压大于0.5V时，VT2导通，将VT5基极下拉至地，保护启动，继电器断开。当输入电压小于-0.5V时，VT4导通，将VT5基极下拉至负电压，保护启动，继电器断开。

检测端前面带有RC滤波电路用于隔离交流。毕竟给耳机的信号是交流信号，如果不进行隔离会影响正常使用。由于信号是正、负信号，信号滤波用的电容应该选用无极性电容，但是由于该电容的容值比较大，所以选用两个电解电容对接的方案，效果等同于无极性电容。

两个声道完整的保护电路如图14所示。输入滤波电容采用2个220μF对接串联（实际参数为110μF）。前面加3.3kΩ电阻，保证在有效值为4V的交流电在20Hz以上时不会保护。这样便可以保证300Ω高阻耳机在输出50mW功率以下时不会被保护，不然声音开大之后会被认为是直流而进行保护的。

这里要特别说明一下，整个保护电路参数对于高阻耳机是绝对安全的。以300Ω阻抗耳机为例，即使在出现刚好输出0.5V直流并没有起保护的情况，此时耳机因为直流所产生的功率为0.8mW，这点发热并不会对耳机造成影响。但是同样的电压换成32Ω阻抗的耳机就不一样了，同样是0.5V电压产生的功率为8mW。虽然有些32Ω低阻耳机的极限功率有200mW，不排除一些极限功率仅有30mW耳机的存在，虽然不足以致命，但还是比较危险的，所以这个保护电路应用于低阻抗耳机是有危险的。

一款成熟的电路调试好之后，输出电压一般都会在10mV以内。而使用中出现输出直流的概率也是非常低的，即使输出直流，大部分情况也是在电路损坏的情况下输出的电压为直流，这种情况保护电路会立即检测并且启动保护。所以，使用这个电路基本上是不会出现问题的，但是对于概率极低的这一点的可能性还是要特别说明一下。

电源部分使用7812稳压管与后面12V继电器相匹配。前后各用10μF电解电容滤波，这两个滤波电容不能太大，不然会影响瞬断速度。两个分压电阻R3、R4分别用150kΩ和22kΩ。静态时VT5基极电压约为1.5V，保证三极管导通又不会使be

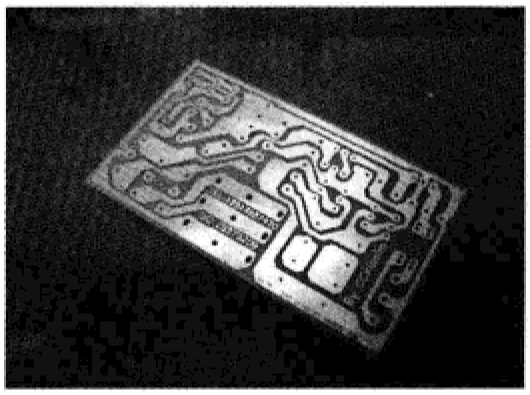


图16 保护电路的PCB

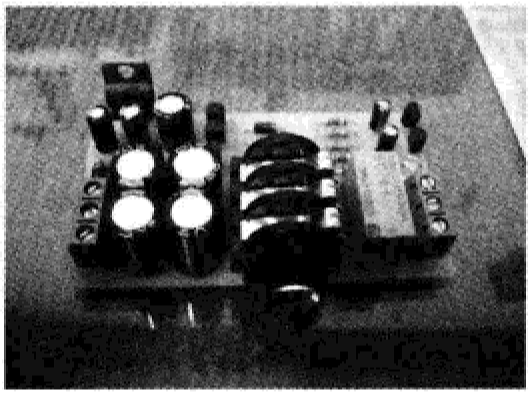


图17 安装好的保护电路板

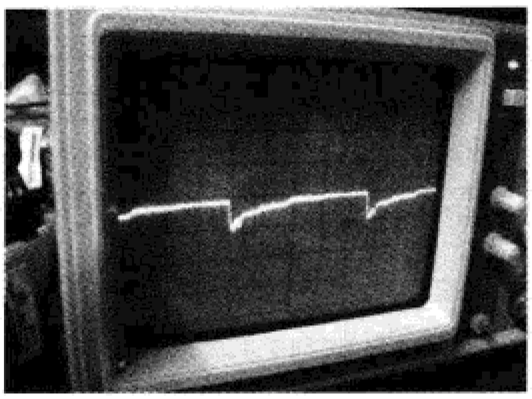


图18 不理想的测试波形

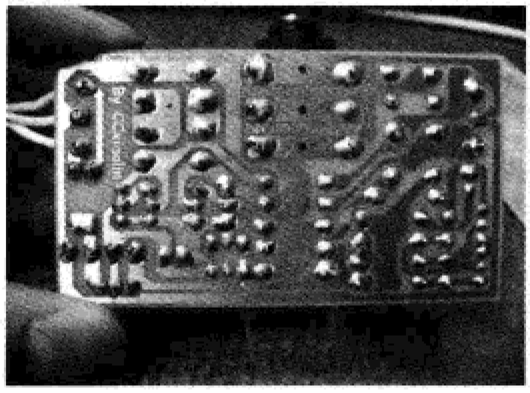


图19 未改进的电路板

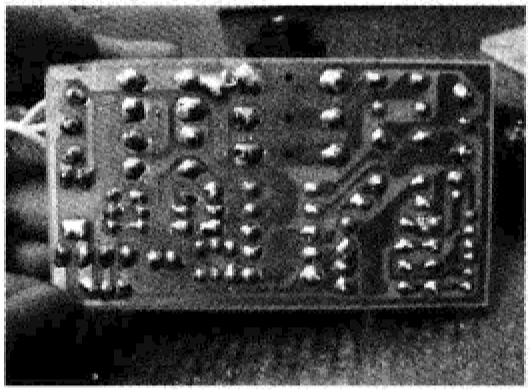


图20 改进后的电路板

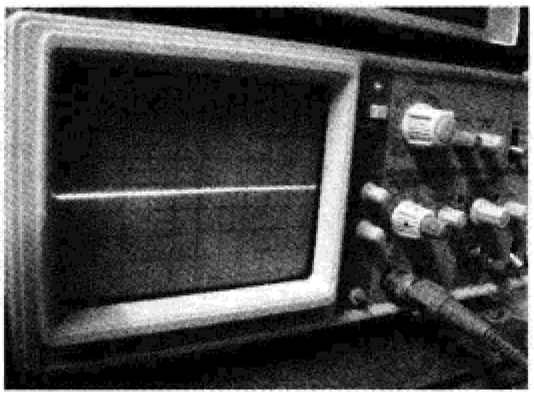


图21 比较理想的测试波形

间电压过高而击穿。C5选用220μF，此时开机延时约为5秒，如果需要更长的延时时间，增加C5即可。整个电路所用的三极管均为NPN管，除VT6需要电流较大之外，其他管子都可以用9014这类小电流管子。为了方便，全部管子我用的都是大电流的SS8050。

给保护板增加了闪烁指示灯，如图15所示。新添加的部分是由R5、R6、R7、R8、C6、C7、VT7、VT8 组成的多谐振荡器。给振荡器供电时VT7、VT8 两个三极管交替导通，在R8上面串联的发光二极管可以达到闪烁的效果。将VT7集电极通过一个二极管接到VT6集电极上，当继电器接通时由于VT6导通，会将VT7集电极一端下拉至地，发光二极管停止闪烁改为常亮。这样在保护电路工作时候 LED是常亮的，而在延时启动和出现中点问题导致继电器断开的时候LED闪烁。这个LED也可以直接用作耳放的电源指示灯。

电路做到这里基本上算是完工了，剩下的就是做出PCB来进行实际测试。由于保护器是一个开关的作用，对布线的要求不高，于是在布线上没有下很大功夫，最开始设计的PCB如图16所示。

整套耳放的设计定位是台式机，所以耳机插座直接做在板子上，这样可以直接拧在机箱上进行固定。继电器用比较小型的继电器，整体设计使元件排列尽量紧凑。安装好的电路板如图17所示。

准备通电测试电路，电源依然使用之前用过的双14V。其实用12~18V都可以工作，而且单、双电源都能用。上电之后开机延时、关机瞬断一切正常，但是这并不代表不会出问题。之后又用示波器检测了耳机输出接口的信号，发现了大约20mV的交流信号，见图18。这就是由于布线问题引起的！看波形比较波折且频率为50Hz左右，推测是整流管开关时产生的谐波经过地线耦合到输出端。看了一下板子布线确实是这样，见图19。

电源地本应该先经过电容滤波后再接到后面电路的，但是在布线时认为保护电路不重要，而不注重合理布线，结果就发生悲剧了。滤波电容前的地线带有大量谐波，信号经过两个220μF电容和一个3.3kΩ电阻传到耳机输出插座产生了噪声。虽然信号20mV比较大，但是经过3.3kΩ电阻衰减后声音就比较小了，一般情况下不会被人发觉，既然我发现了问题就要想办法解决 。

把PCB修改了一下，将滤波电容前的地线刮断并与滤波后的地线相连，如图20所示。经过修改之后的电路基本上在噪声方面就没有什么大问题了，又用示波器测试了一下，如图21所示。

噪声问题解决后继续测试保护电路。用1节5号电池经过电位器分压制造一个可调的直流信号输入，测试电路对直流的检测情况。经测试，在输入+0.49V以上和-0.57V以下时，可以启动保护。保护电路中点检测措施上没有任何问题。但是在测试过程中 却发现了一个比较奇怪的现象，那就是正、负直流解除后，恢复时间差距很大。以1.5V作为测试电压，给输入-1.5V信号，电路进入保护状态，当-1.5V消失后，4秒钟恢复正常状态。但是输入+1.5再进入保护状态、撤销直流电

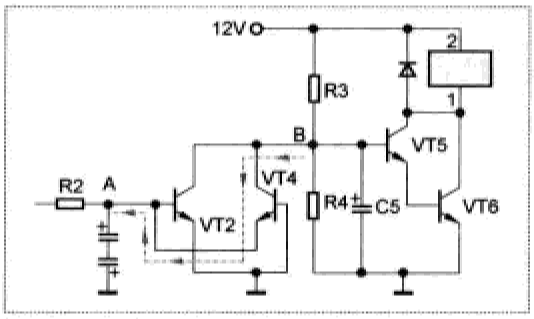


图22 保护电路局部图

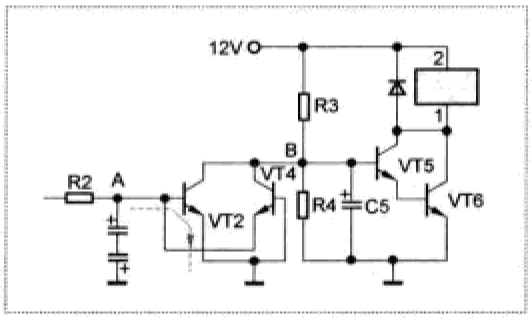


图23 保护电路局部图

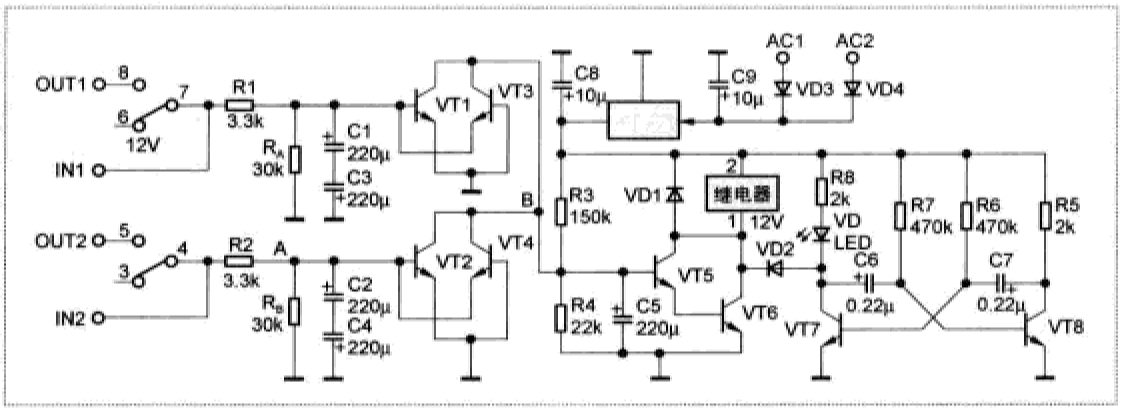


图24 保护电路（最终版）

之后，却要等上28秒，相当地缓慢。虽然这个问题不会影响电路的监测功能，因为中点问题不会经常发生在放大器上，但是这样明显的不平衡还是让我对这个电路非常不爽，经过对电路的检查终于发现了问题的所在。在设计电路时只考虑了检测作用的问题，而对于检测后恢复的问题却没有多想。问题就出在电容上，如图22所示。

前面说过 VT4用于检测负电压，当给输入-1.5V电压时A点产生负电压，VT4导通，同时C5的电荷通过图22中所示的箭头由B点放电至A点，使B点电位降低从而继电器断开。当输入的-1.5V撤销时，由于电容的存在，A点存在-1.5V电压，所以VT4依然保持导通状态。不同的是电源经过R3，再经过图22中所示的箭头源源不断地给电容充电，A点电压逐渐提高，当提高到无法使VT4继续导通时，VT4关闭。同时R3转换到给C5充电，B点电压提高，继电器恢复闭合状态。正是由于电源经过R3以图22中所示的箭头的方向给电容充电，所以A点会马上恢复到安全状态，并且保护电路在检测负电压时恢复得比较快。但是监测正电压的时候就不同了，如图23所示。若输入+1.5V电压VT2开启，撤消电压后A点的电荷只能通过VT2的发射结进行放电，也就是图23中所示的箭头方向。三极管发射结可以放掉的电荷比较有限，这样微弱的放电必然要经过很长一段时间才能使A点电压逐渐降低至安全状态。正、负电压检测恢复时间不同，是由于电路对正电压信号在检测时电容不能快速放电造成的。解决这种问题的办法根简单，只要在A点对地接一个给电容放电的电阻即可。若电阻较大放电恢复时间会比较长，改善效果不明显。若电阻较小，会增加输入端监测范围降低检测精度，所以最终选择30kΩ电阻。

这里特别说明一下。正电压检测恢复时间过长，这个问题是在耳机保护电路输入悬空测试时发现的。而在接入工作中的放大器的时候是不会出现这种问题的。如果放大器不慎输出直流还有可能自行恢复的话（比如信号输入端不慎碰到电源，然后立即恢复正常状态），恢复正常后的输出端便可以提供一个接近零电位的放电基准，A点电荷会通过3.3kΩ电阻进行放电，所以这两个电阻也可以不加。但是悬空测试出现问题总觉得比较别扭，所以最后还是加上了。

修改后的电路如图24所示。修改后的PCB如图25所示。可以看出，不但增加了两个电阻的位置，而且地线也作了修改。耳机插座的孔还兼容了3.5mm的小插座，装好后如图26所示。

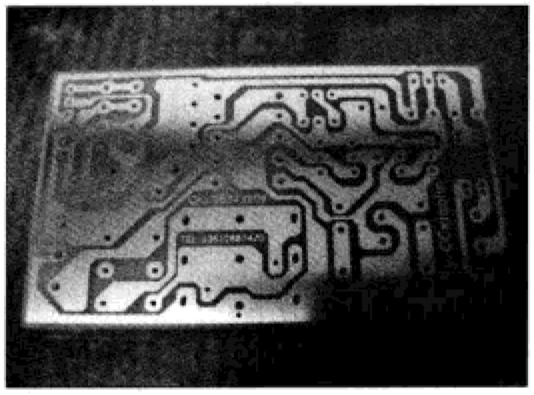


图25 修改后的保护电路PCB

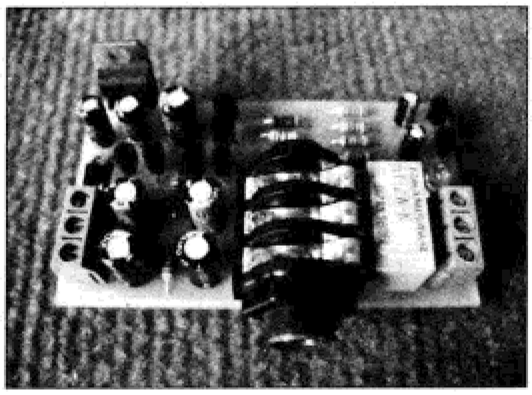


图26 安装好的保护电路板

总结

耳机放大电路、稳压电源电路、耳机保护电路，三套电路都完成了，可以说是一套比较完整的耳放电路。缺少的就是机箱，电位器和变压器。电位器由于安装比较简单，所以并没有另外做出一个板子来，安装的时候直接焊接就可以了。由于机箱和变压器暂时没有买，所以装机过程无法写出来。这几个板子连接好之后听了一段时间，感觉还是比较不错的，自己比较满意。5532声音比较浑厚、偏暖。也曾把IC1换成TL072试听过，声音与之略有差别。有兴趣的朋友可以通过更换不同的运放找到适合自己的声音。

玩转老功放之纵向比较篇（上）

◎梓门

决定功放性能的主要因素，圈内的意见并不统一，大致可以分成两派。

一是“材料派”，要想出好声，“补品”即便不是万能的，至少也是决定性的因素。在青睐“补品”的爱好者眼中，镀金的器件只是小儿科，纯金器件也不稀奇，从晶体管到电容、电阻乃至线材，甚至于电源插座，无不需要进“补”。元器件进“补”虽然费钱，但是门槛低，“补”的结果呢，自然也是以“耳朵收货”为主。

二是“电路派”，迄今为止，无论是晶体管还是电子管，还没有哪一种有源器件是完美的，完善的电路自然是必不可少的，“一个好汉三个帮”嘛。从OTL到OCL，从差分到全差分（或者说是平衡输入级到全平衡输入级），从电压反馈到电流反馈，从AB类到A类/纯A类，从FB（负反馈）到NFB（无负反馈），从大环路负反馈到局部负反馈，从分立元件到IC再到分立元件。与器件进“补”相比，“电路派”可以说凭技术能力干活，不一定费钱，费的是脑力。

各种创新理念的、形形色色的器件和电路布局，令入门者感到有些眼花缭乱、无所适从，就是经验丰富的爱好者与发烧友也会感到这个世界的发展真是太快了。

如果我们这样想：低矮的窝棚与摩天大楼所用的砖与水泥或许真的有所不同，百层大楼需要用更多的水泥和钢筋，但是毋庸置疑的是，同样质量的砖、水泥、钢筋，既可以修简陋的窝棚，也可以用来建造高楼大厦。问题的关键是，用什么，怎么用，用多少?

有句古话说：“王侯将相宁有种乎?”，意思是说“贵族是天生的么?”，换言之，摩天大楼上的一块砖真的就比窝棚上的好么?

这里无意评判孰是孰非，更何况要评判这些，不但需要够深的资历，还需要够大的号召力。有比较才会有鉴别，在玩老功放的过程中，研究不同时期上市生产的产品，似乎能找到一些解惑的“草药”。

1985－1990年似乎是音响流行风的一个分水岭。在此之前，音响产品重视“电路设计”的成分多一些，在此之后，则重视“材料”的成分多一些。不能说重视“材料”的产品华而不实，爱美之心人皆有之，但外观的华丽并不为过，繁多的功能一个人很难全用得着，但总是有人用得着，就像现在的Windows与Office。

成功的企业大都有精打细算的真功夫，在市场产品中，哪怕是很昂贵的音响产品，也会看到电解电容电压规格的选择会精确区分到6.3V与10V，电阻的功率的选择也可以精确到1/16W、1/8W、1/4W。

DIY市场显然不是现代市场的主流，现代市场的主流是商业市场，能够以行家自诩的爱好者和发烧友可以对纯粹的商业宣传不屑一顾，但是对隐性商业宣传的心理暗示作用的抵抗力，却是有强有弱的。

本文介绍的SA-1520合并式功放是日本Pioneer（先锋）公司的产品，上市时间在1988或1989年，与之前介绍的SONY的TA-1150相比，实用功能大同小异，产品的市场定位也基本上相同。

Pioneer SA-1520概述

SA-1520（图1）上市时的市场建议零售价格目前查不到了，从二手市场上的价格来看，应该和SONY的TA-1150上市时的价格水平相当，这是本文选择SA-1520的主要原因之一，不过它在圈内的知名度显然要比TA-1150低一些。与SA-1520同系列的产品应该还有SA-1510与1530，上市顺序与市场建议零售价不详。从用户手册来看，SA-1520有可能是与TX-1320Z收音头配套出售的。在功能上，SA-1520有如下值得一提的特点。

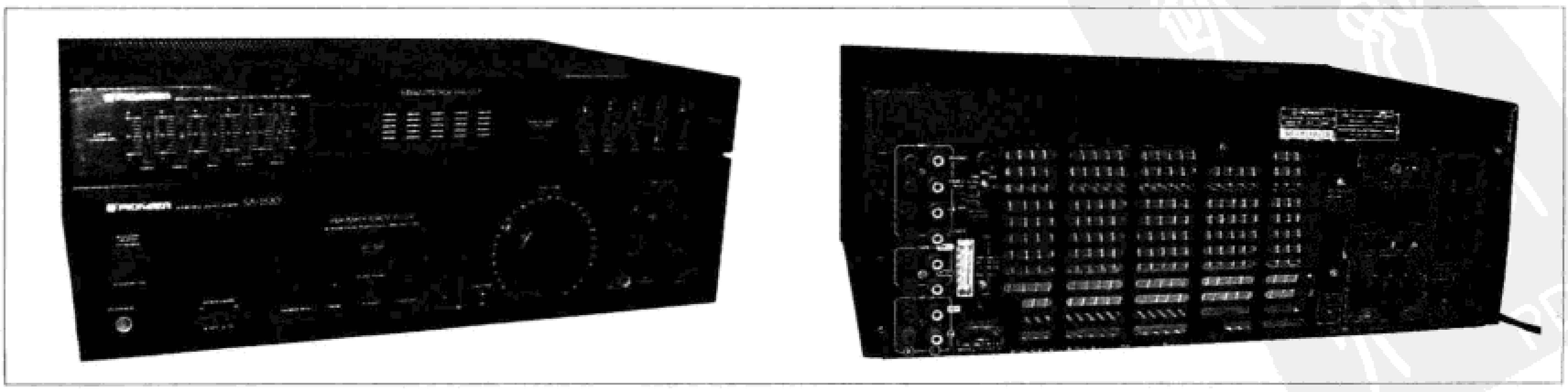


图1 Pioneer SA-1520的实物照片（大致同一比例）

1. 远程控制与遥控

前面板正中偏左的位置有一块容易让人误解为液晶或者CD仓的区域，实际上却只是一种装饰，左侧是遥控窗，中间的“MULTI-ROOM REMOTE”（多房间远程控制）字样在开机状态会借助背光而变为红色状态。在这片区域的上方，一行稍大的字是“HIGH POWER REMOTE SYSTEM”（大功率远程控制系统），下面一行稍小的字是“5-POSITION FUNCTION SELECTOR”（5路音源选择）。

SA-1520支持遥控，但不是全功能的，图示均衡器的调节、平衡调节、混音调节、扬声器输出选择均为手动方式，多房间远程控制则是有线方式，背板有一个基于3.5mm耳机插座的远程控制接口。

用电子开关进行音源选择对音质有一定影响，尤其是布线不合理时更是如此，但是遥控带给我们的诸多便利又让人不忍割舍。为了兼顾遥控与音质，基于继电器的音源选择控制方式与传统的机械开关相当，缺点是成本高、体积大，自锁式继电器只是吸合和断开瞬间耗电，比较省电，但是需要开/关两个控制信号，控制电路稍显复杂；也可以采用步进电机控制传统的多刀多掷开关，成本就更高一些。

远程控制是至今也没有普及的功能，基于互联网的远程控制是否会在未来普及，至少现在也还无法断定。SA-1520的背板上有两个专用接口：TX-1320Z与VSP-333，前者是与Pioneer的一款型号为TX-1320Z的收音头的专用接口，后者是与Pioneer的一款型号为VSP-333的环绕声处理器的专用接口。即便多房间控制不很现实（牵扯到布线与不同公司间的产品兼容问题），退而求其次，多机控制也是一种选择，可见当时业界对遥控、远程控制的诸多设想。

2. 大功率

SA-1520比较重，透过上部镂空的机壳也能看到比较大的散热器和电源变压器，这意味着它的功率输出能力比较大。同时从用户手册上可以查阅到它的标称输出功率是每声道130W（连续平均功率，8Ω、0.05%），音乐功率每声道350W，峰值功率两声道共1400W。

除非机壳或者用户手册上有醒目的声明，常见的功率放大器如果有比较大的散热器，一般多是AB类功放，它的电效率大约是60%，连续平均功率（continuous average power）大致和现在常说的RMS（Root-Mean-Square，均方根）功率相当，常用的测试方法是用0dB的信号电平，这种测试信号一般是1kHz的正弦波，换算成电功率大约相当于它所消耗的电功率的70%，与AB类功放的电功率60%近似相抵消，估算时可以认为它的平均输出功率与耗电功率是大体相当的。换言之，100W的功放至少需要100W的电源变压器，对于采用铁芯的工频变压器，功率因数在0.9以上，因此也可以忽略，总体来估算的话，也可以认为功率输出能力为100W的功放至少需要100VA的电源变压器。

具体到SA-1520，它的主电源变压器虽然有型号，但是没有了技术规格标签，技术规格书也查不到（电源变压器也很少有技术规格书的），不过可以根据它所用铁芯的截面积来估算。对于SA-1520所用的EI型铁芯，指的是中间的芯柱的截面积，用尺子测量一下即可。如果是环形变压器，就要测量环形铁芯的直径或者周长。知道了铁芯的截面积（S），就可以用下面的公式（式1）进行估算，估算结果至少可以进行定性评估。为了减小测量误差，可以同时参考铁芯规格的相关标准，将测量结果与之对比，取最相近的值即可。

$P=S^2\div1.56$，单位：P：VA 或者W，S：cm^2　　(1)

经过测量，叠厚（芯柱的厚）为5.2cm，芯柱的宽为3.6cm，将变压器的总宽（10.6cm）、总高（8.8cm）与日本广泛使用的EI铁芯标准比对，与EI-105（B）相当，芯柱的宽为3.5cm，$(3.5\times5.2)^2\div1.56\approx212$。与连续平均功率输出能力相比，略微低一些，还算过得去。

音乐功率可以参考电源保险管的规格（如果有并且是原装的），如果多路电源都配置有保险管，可以以功放电源一路为准。保险管的电流规格与供电电压相乘就大致和这部功放的音乐功率相当。如SA-1520的主电源变压器采用了3.15A的保险管，最高供电电压为240V，两者相乘等于756（W）。

大功率很容易让人联想到始于20世纪90年代一直延续到今的一股风，国

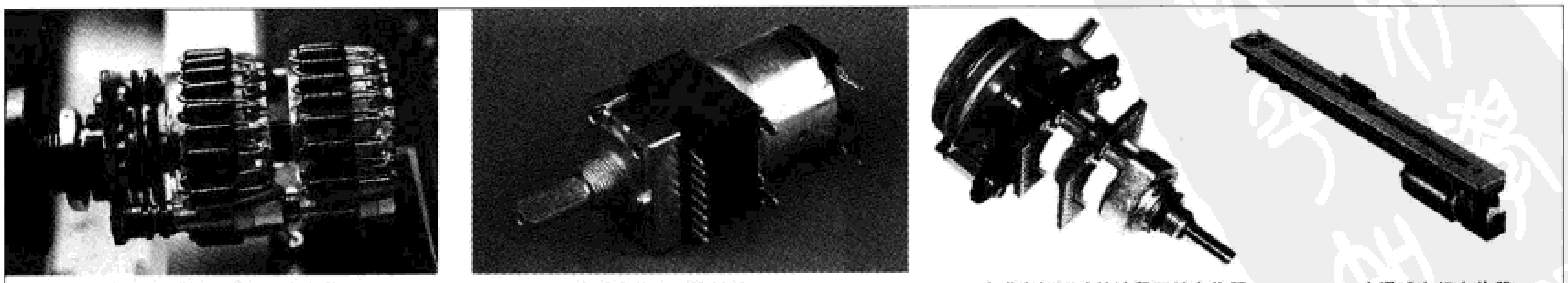

爱好者自制的波段开关电位器　电动电位器（旋转式）　步进电机驱动的波段开关电位器　直滑式电机电位器

图2 波段开关电位器与电动电位器

内尤甚：采用TDA2822M的音响设备标出的PMPO（峰值功率）高达100W乃至更高。要知道，这原本是一块用于便携收录机的功放IC（DIP-8封装），标称输出功率是每声道0.65W（RMS，4Ω、10%），BTL（桥接）单声道模式的功率输出能力也不过2W（RMS，16Ω、10%）。大功率成了一股流行风，问题是，我们确实需要这么大的功率么？好在SA-1520的标称功率输出能力虽然比较大，水分倒还不算大。

3. 图示均衡器

图示均衡器又称为多频率音调控制器，它是将整个音频频域按照对数倍频程分成若干个频段，分别针对每个频段进行音调调节。它的优势是调节精度高，频段越多越精确。不足之处是需要使用者有相当的音乐专业素质，否则会越调越乱，反而不如将整个音频频域视为一个频段的单频段音调调节电路的效果好。因此图示均衡器在非专业音响产品上流行一段时间后，单频段音调调节电路又在非专业音响设备中占据了主流地位。

SA-1520配备了5段频率均衡器，而且是两个声道分别独立调节，与双声道同步调节相比，调节的难度无疑又增加了一些，试想有多少用家能够分别出两个声道间不正确的音调，更不用说一个频段了。当然在图示均衡器刚刚流行的时代，这种配置还算是比较“发烧”的。另外，SA-1520的图示均衡器的调节虽然是手动，但是它的关闭与打开却是可以通过遥控器控制的。

4. 可以遥控的音量控制

遥控音量调节大致有这么几个方式：电子音量调节、电动式电位器、继电器、波段开关。

电子音量调节有模拟电压控制方式和数字控制方式两种，优点是同步性好，尤其是数字控制方式，其次是实现负衰减，不但理论上可以将信号衰减到零，还可以有负增益，这是其他方式难以做到的；同时，电子音量调节方式的成本相对也比较低。

电子音量调节的不足之处在于会引入失真和噪声，过载能力差，难以承受过大的信号电平。尽管电子音量调节方式引入的失真和噪声从技术指标上看几乎可以忽略，但是在电路上处理并不容易，因此相当一部分爱好者和发烧友仍然坚持采用传统的电位器方式。在业余条件下，电位器方式的制作容易，更容易取得好的效果。

电动式电位器相当于一个用电动机驱动的传统电位器。这种音量控制的性能与传统电位器相当，与继电器相比，如果采用IC驱动电机，电路复杂程度和成本都要低一些。

波段开关式电位器很受一些发烧友青睐，它是用档位足够多的波段开关来切换电阻衰减网络实现音量调节，只要电阻的精度足够，通道间的同步性就可以明显提高。同时还可以保持输入/输出阻抗不变，不足之处是这种调节方式不是连续的。用步进电动机驱动波段开关能够像电动式电位器那样实现遥控，但是步进电动机的驱动控制稍显复杂。

继电器可以代替波段开关也可以实现遥控，而且这种方式更为常见一些，但是数量很多的继电器会占用很大的印制板面积，成本也比较高。

有时候波段开关电位器也称为步进电位器，但是容易和步进调节电位器（即普通电位器加上步进旋转或者推拉机构以改善手感）相混淆，这种电位器的可调电阻部分与电位器并无二样。

无论是波段开关方式还是继电器方式，在市场产品上都很少见，音量的遥控，最常见的还是电子方式，其次是电动式电位器，SA-1520采用的就是后者。

5. 结构布局

打开SA-1520的上盖，比较吸引人眼球的是硕大的变压器和散热器（图3），还可以看到个头比较大的功率管，与电源变压器相比，个头最大的电容，即主滤波电容反而显得小了一些。

总体来看，机箱内显得有些突兀，中间部位显得比较空，金属机壳也显得有

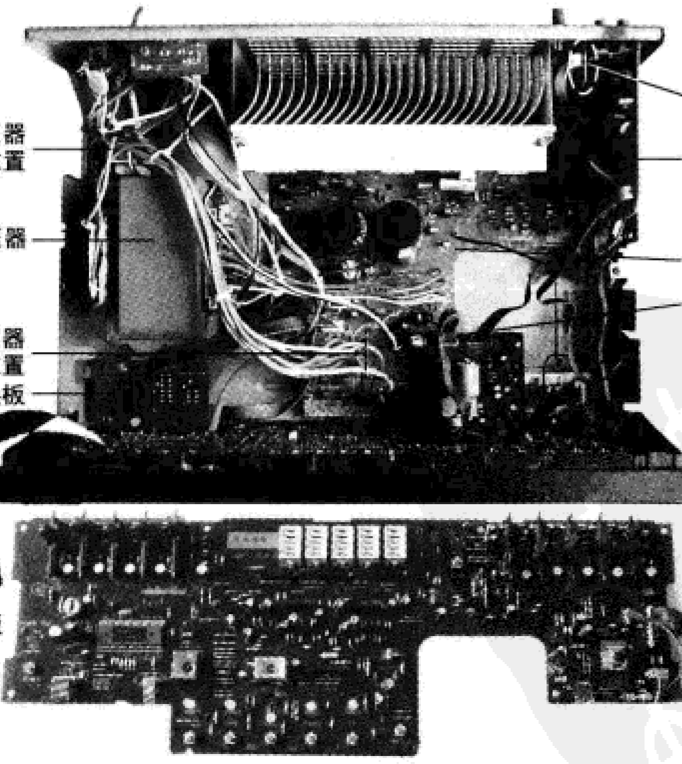


图3 Pioneer SA-1520内部鸟瞰

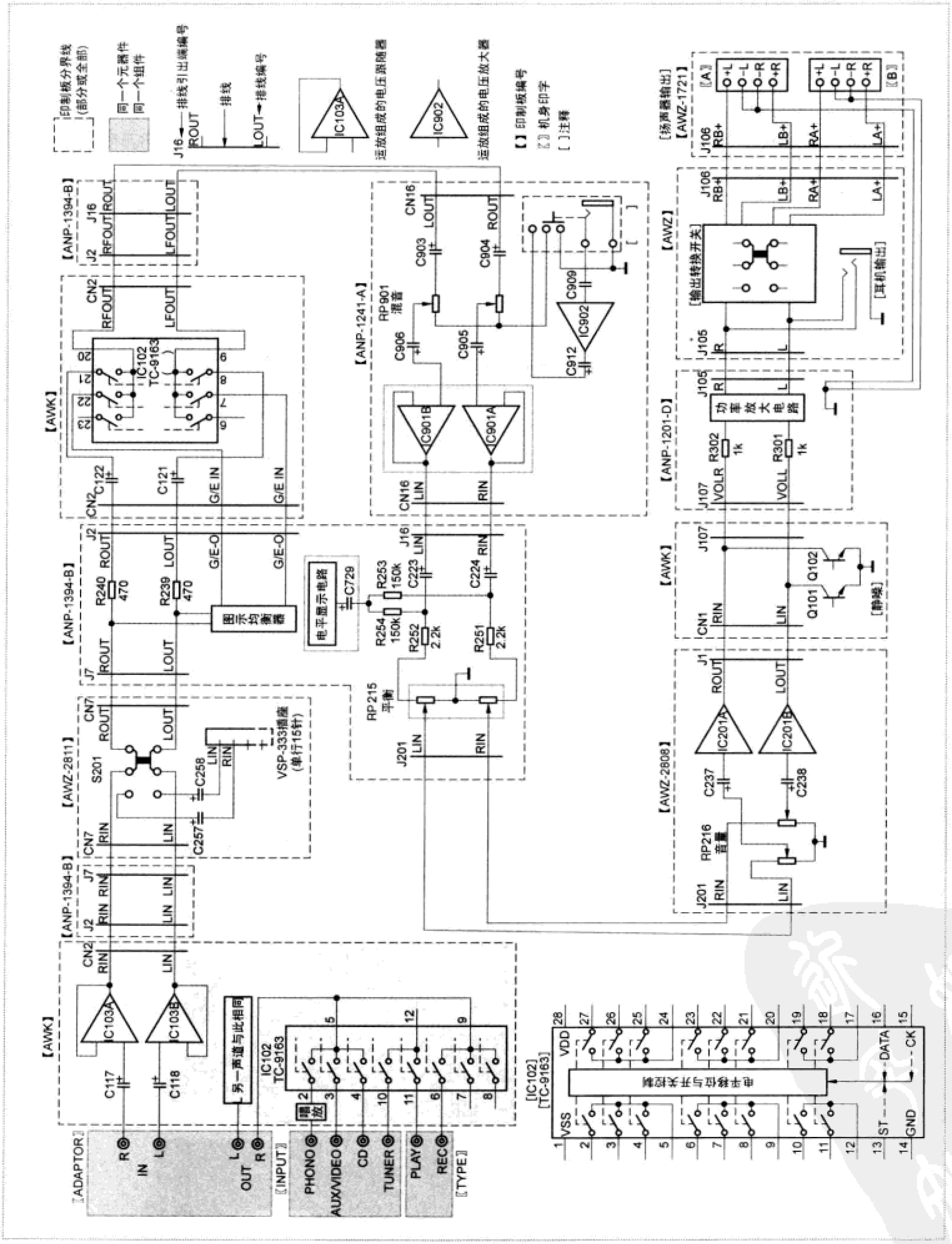


图4 Pioneer SA-1520的整机电路框图

些单薄。一块几乎和前面板一样大的电路板直接固定在塑料材质的前面板上，这应该是机内前级的主电路板。塑料面板虽然好看，颜色也更为丰富，但显然并不利于屏蔽外界干扰。究其深层次的原因，恐怕主要还是成本问题。单薄的机壳也让人担

心它的机械强度是否足够。图中土黄色的印制板很显然是功放部分，如果仔细看或者将机箱翻过来看，会发现功放板下面的一块金属板是可以拆卸的。如果将机箱侧立，无需拆卸功放板就可以对功放板进行维修，如换功率管等，这种结构设计对维修来说，无疑是值得称道的。

主滤波电容的规格是8200μF/80V，能够推测SA-1520的供电电压可能会比较高，实测SA-1520功放电路的供电电压为±75V，可见滤波电容的电压规格选80V是偏低了，选100V才显得更为安全。

电解电容的主要技术规格除了电压和容量，功率容量也很重要，即承受纹波电流的能力，直观的指标就是它的个头，在其他条件相同的情况下，个头越大越有利。此处主滤波电容的个头只有TA-1150所用的主滤波电容的2/3。当然，随着技术的进步，电容的体积/容量比也是逐渐减小的。

因为遥控的需要，SA-1520有两个电源变压器，图3中明显可见的大个头变压器一般称之为主电源变压器，另一个个头小得多的一般称之为副电源变压器或控制电源变压器。因此SA-1520的背板上也就有两个市电电压规格转换开关。控制变压器是插针式的，功率约为6W，原本位于音量电位器左侧的地方，这部机器因为烧掉了，换上的小变压器位于主电源变压器上部靠近机壳后部的地方，被众多的连线遮盖住了一大部分，但仍依稀可见。

6. 整机电路框图

按照在TA-1150系列中“读电路原理图的一般方法”的说明，先从整机电路框图开始（图4）。图中省略了电源部分。

从电路框图不难看出，SA-1250也支持前级直通功能，即前后级可以分别独立使用的“准分体功放”功能。分体式功放一般是指前级与后级的机壳是独立的套装音响或者称为音响组合。SA-1520作为准分体功放使用时，仅仅是跨接了音源选择部分，混音、平衡、音调、音量等功能都还是可用的。当然，音调部分也可以跨接，而且可以遥控。因为跨接是通过电子开关而不是机械开关或者导线，从发烧的眼光来看，这样的跨接同样不纯粹。

〖ADAPTOR〗（转接器）是音频输入的真正开始，〖INPUT〗是音源选择的输入，〖TYPE〗则是磁带录放音机的输入，包含了录音输出（REC）和输入（PLAY），因此 SA-1520 有 5 组音源选择，除了PHONO（唱机输入）与电子选择开关之间串接有唱放（塑胶唱片 RIAA 均衡放大器）以外，其余 4 组输入除了名称不同之外，输入通道的电路构成并无不同。

与前级信号相关的有音源选择板（AWK）、音调板（ANP-1394-B）、话筒板（ANP-1241-A）、音量板（AWZ-2808）、前级外控板（AWZ-2811，VSP-333环绕声处理器输出/输入板）共5块电路板，音源选择电子开关中的2组开关还同时担当着音调直通的转换，音频信号来来回回的在5块板上穿梭，信号流程就显得复杂了一些。这还不算图中省略的与TX-1320Z收音头连接的专用接口，这组接口只是TUNER（收音头）输入的扩展，包括外供给收音头的电源，与信号通道的关系并不大，不使用型号为TX-1320Z的收音头时，这块板是闲置的。

音频信号经过音源选择后从〖ADAPTOR〗上的“OUT”输出，经过短路线从〖ADAPTOR〗上的“IN”输入，或者直接从〖ADAPTOR〗上的“IN”输入，在音源选择板上经过缓冲放大后，辗转到音调板，再转到前级外控板。如果不使用型号为VSP-333的环绕声处理器，经过手动的直通开关S201回到音调板。此时的音频信号无论是否经过图示均衡器处理，最终都要再次回到音源选择板，让电子开关选择是否跨接图示均衡器，经过功能选择后，音频信号经过音调板的中转，送往话筒板。话筒信号是以混音方式加入音频信号通道的，如果没有话筒插入，话筒放大器是闲置的，此时，话筒板上的RP901可以充当音频信号的输入电平选择，除了会影响后面的电平显示，与音量控制电位器的功能并无二样。从话筒板上输出的音频信号重新回到音调板，进行平衡控制，同时一部分信号会送到电平显示电路。经过平衡控制的音频信号转到音量板，音量控制后的音频信号再次借道音源选择板，经过静噪控制后才最终送往功率放大电路。

不管是为了减少排线的数量还是其他什么原因，SA-1520 的前级信号通道都显得曲折了一些。电平显示电路的位置在信号通道中也显得有些上下不靠，即不能真实的显示从机外输入的音频信号电平，因为之前经过了音调电路和混音电路，也不能真实的显示输入到后级的音频信号的电平，因为之后才是平衡与音量控制电路。

电子开关TC9163与常见的电子开关有所不同，一方面它只能通过I^2C总线进行控制，控制信号一般来自单片机，另一方面它不是多选一开关，而是单选一开关，每一个开关都可以单独选择开/关状态。图4中给出了它的引脚定义和完整的内部框图，图中显示它包含6组开关，可以串/并联使用。另外，TC9163的工作电压范围比较宽（±8～±17V），最大输入信号电平与工作电压相当，因此与常见的通用模拟电子开关相比，动态范围不成问题，同时TC9163内部已经集成了电平移位电路，也支持单电源供电，只是范围降低为+8～+18V，这个范围对音频电平来说也是足够的。

因此作为电子开关而言，与常见的低电压供电的电子开关相比，TC9163的性能还是比较优秀的，与其类似的还有TC9162和TC9164，内部开关的数量相同，只是组态不同，均为TOSHIBA（东芝）公司的产品，也都有DIP和SOP（Small Outline Package，小外形封装，贴片封装形式之一）两种封装形式，SA-1520采用的是DIP封装，即TC9163N。

- 实用音响技术入门与提高 -

◎薛国雄

集成运放在音频电路中的应用

长期以来，分立件构成的音频放大电路在Hi-Fi音响中占据着主导地位。但随着集成运放性能的改善，以及数字音源的出现，这一状况有了很大的改变。

普及型Hi-Fi音响中，原有形势已经发生了根本性的逆转，大量的集成运放被运用到产品的设计制造中。即使是中高档CD机、音频解码器，模拟电路采用集成运放的也远多于采用分立件电路的。在一直由分立件电路固守的高档前置放大器和高档功率放大器领地，亦出现了被集成运放（集成功放可视为广义上的集成运放）蚕食的现象。比如，德国的贵价前置放大器MBL5010及其升级版MBL6010，采用了集成运放NE5534A或AD797作为放大电路的核心元件。对此，在国内某些音频DIY论坛上还一度引发了仿造的热潮。又如，美国的顶级音响厂家Jeff Rowland公司生产的MODEL 8纯后级，采用了集成功放LM3886作并联放大。该公司售价高昂的双单声道加独立电源结构的四件头一套功放MODEL 9TI，使用的核心元件也是集成功放，具体型号为TDA7293。

集成运放对音响应用来说，人们留有其难登大雅之堂的印象。但顶级厂家的行动说明，集成运放也是高级音响DIY的可堪重用之材。为此，本文主要从音响的角度，简单介绍集成运放的应用。

同相放大器的应用

1. 平直放大器

图1所示的是网上音响DIY论坛流传的MBL5010前置放大器平直放大电路图。NE5534A接成4.4倍的同相放大电路，PR1为高品质音量控制电位器。R1能够隔离输入电路的电容，避免前端器材容易出现的不稳定现象。C1起稳定输入电容的作用。R4和R5构成负反馈网络，决定了电路的增益。C2与R4并联，构成一个零点，只要取值合适，能够增加放大器的稳定裕度。R6是串在运放输出端的防振电阻，避免输出电缆的电容效应引致放大器出现自激。RP2与R3是输出直流零电位的调整用网络。

值得注意的是，该电路采用的NE5534A是单运放，设有专门的失调电压调整端子，可以方便进行输出直流零电位的调整，所以该电路采用了DC放大形式。如果采用的是没有失调电压调整端子的运放（比如封装为双运放的），可能就需要改用AC放大的形式，即在反馈电阻R5与地线之间插入隔直电容，以免输出端的静态直流电压超标。而隔直电容的插入，将不可避免地给音质带来一定影响。

此外，图中的这种电路对于BJT输入型运放来说，如果音量电位器的质量不是很好，可能会令音箱发出令人讨厌的杂音。当电位器转动时接触不良，其电阻值会出现跳变，而BJT运放具有较大的输入偏流，两者共同作用下，运放的输出端会产生电压跳变幅度较大的杂音，经功放进一步放大后，被音箱重放出来。要消除这种杂声，就需将RP2的滑动臂与运放的同相输入端连接断开，插上一只耦合电

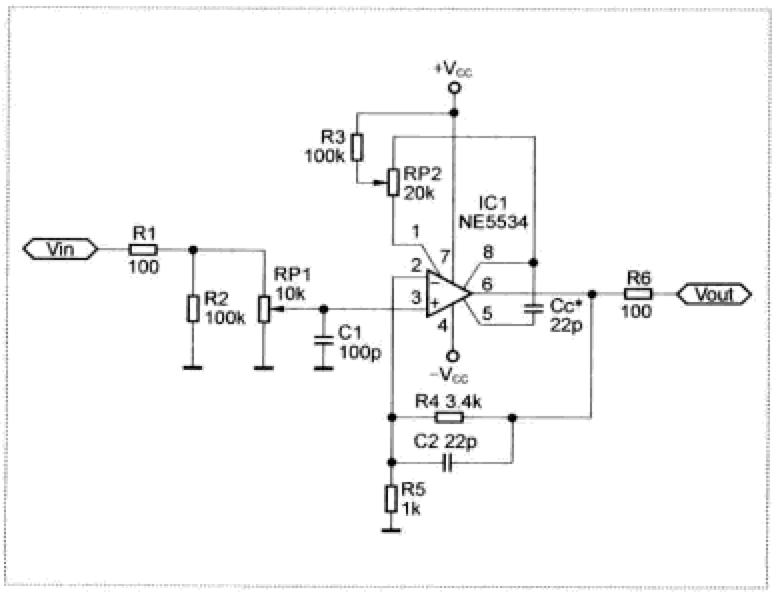


图1 MBL5010前置放大器的平直放大电路

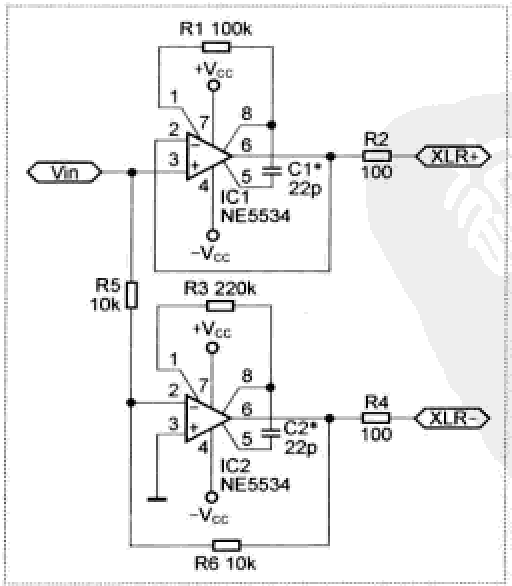
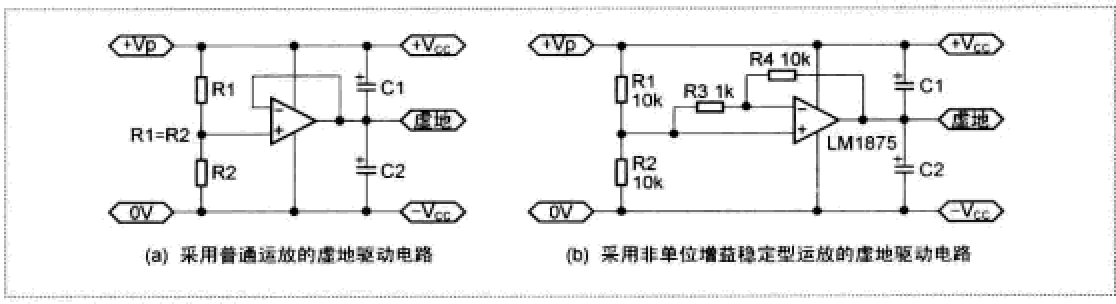


图2 MBL5010的非平衡转平衡输出电路



(a) 采用普通运放的虚地驱动电路　(b) 采用非单位增益稳定型运放的虚地驱动电路

图3 虚地驱动电路

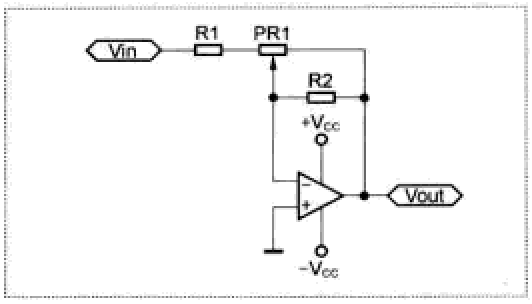
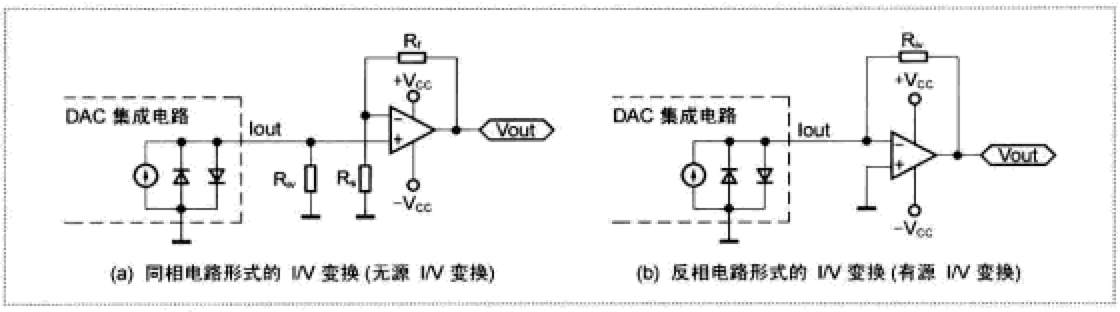


图4 Gm式音量控制



(a) 同相电路形式的 I/V 变换 (无源 I/V 变换)　(b) 反相电路形式的 I/V 变换 (有源 I/V 变换)

图5 音频解码电路中的I/V变换

容（比如2.2μF）进行隔直。同时，须在运放同相输入端与地线之间加接一只电阻（比如100 kΩ），使得运放能得到直流参考电位，以保证正常工作。

2. 电压跟随器

音频应用中，运放构成的电压跟随器具有性能好、电路简单、使用方便的特点，常用于实现电路的缓冲或隔离。图2所示的是MBL5010的非平衡转平衡输出电路，其输入信号取自该前置放大器的RCA输出节点。上半部分电路的NE5534A接成电压跟随器形式，将RCA输出插座与卡侬输出插座的正端（XLR+）隔离开来。

需注意的是，有些型号的运放，比如OP637，其设计不是单位增益稳定——厂家无特别说明的运放均为单位增益稳定型。即是说，应用这种运放时，放大倍数必须要达到高于1的某个值（比如5倍），才能保证电路工作稳定而不出现自激。对于这种类型的运放，就不能接成电压跟随器来使用。Hi-Fi便携设备中，为实现单电源供电到双电源供电的变换，需使用运放作为虚地驱动器，此时可能会遇到这里所说的问题。如图3所示。HIFIDIY论坛的MINI USB DAC电路，虚地驱动器采用的是LM1875集成功放。为避免自激，没有采用运放于虚地驱动电路中常见的电压跟随器设计，而是有意将LM1875设定为较高的11倍放大。

事实上，在运放的应用中，负反馈与自激之间存在着矛盾。负反馈越深，就越容易获得更好的性能，但也越容易自激。当运放电路出现难于消除的自激，将运放电路的放大倍数提高，很多时候就能立即解决问题。

反相放大器的应用

音频用整机电路，一般做成输出信号与输入信号同相，这也是人们的使用习惯。因此，在没有特殊需要的情况下，反相放大器一般不单独用于音频主干道上。不过，也有例外的音频器材设计案例。比如mark levinson早期的JC2功率放大器，就是一台反相的放大器。这台功放的音箱接线也就变得与众不同，其地线输出引线标为正极性。但在某些音频应用场合下，因为同相放大器难于完成所需任务，就非得使用反相放大器不可。

1. 用于信号极性的变换

当电路需将信号极性进行变换时，就要使用反相放大器。上述MBL5010的非平衡转平衡电路就是一例，其中图2下半部分的XLR-输出电路，运放NE5534A接成放大倍数为1的反相放大器。

2. Gm式音量控制电路

由增益计算公式可知，同相放大器的最小放大倍数为1。而反相放大器则不同，放大倍数可以做成小于1，即具有衰减作用。因此，如果采用反馈式的音量控制，就需要使用反相放大器形式。若使用同相放大器，则不能将音量关死。反馈式音量控制又称Gm式音量控制，电路如图4所示。

3. 音频解码电路中的I/V变换

高性能DAC集成电路大多设计为电流输出型。为确保可靠性，这些DAC集成电路的输出端均在内部与地之间设有电压箝位用的保护二极管。因此，它的输出端电压决不能超过二极管的导通阈值电压（约0.3V），即使是这个电压稍高一点（达到0.1V），也会令解码器的超低失真性能受损。如果采用运放的同相电路做I/V变换，如图5（a）所示。由于解码器的标准输出电平是2Vrms，这样一来，需要电路至少作28倍的放大，又由于I/V变换实际上全由电阻完成（即是无源式的I/V变换），运放的反馈不能应用到I/V变换上，因而大大增加了控制失真与噪声的难度。

如果采用运放的反相电路形式，如图5（b）所示，则不会遇到此困难。在运放输出端获得2Vrms的信号电压时，运放的反相输入端处（即DAC输出端）交流

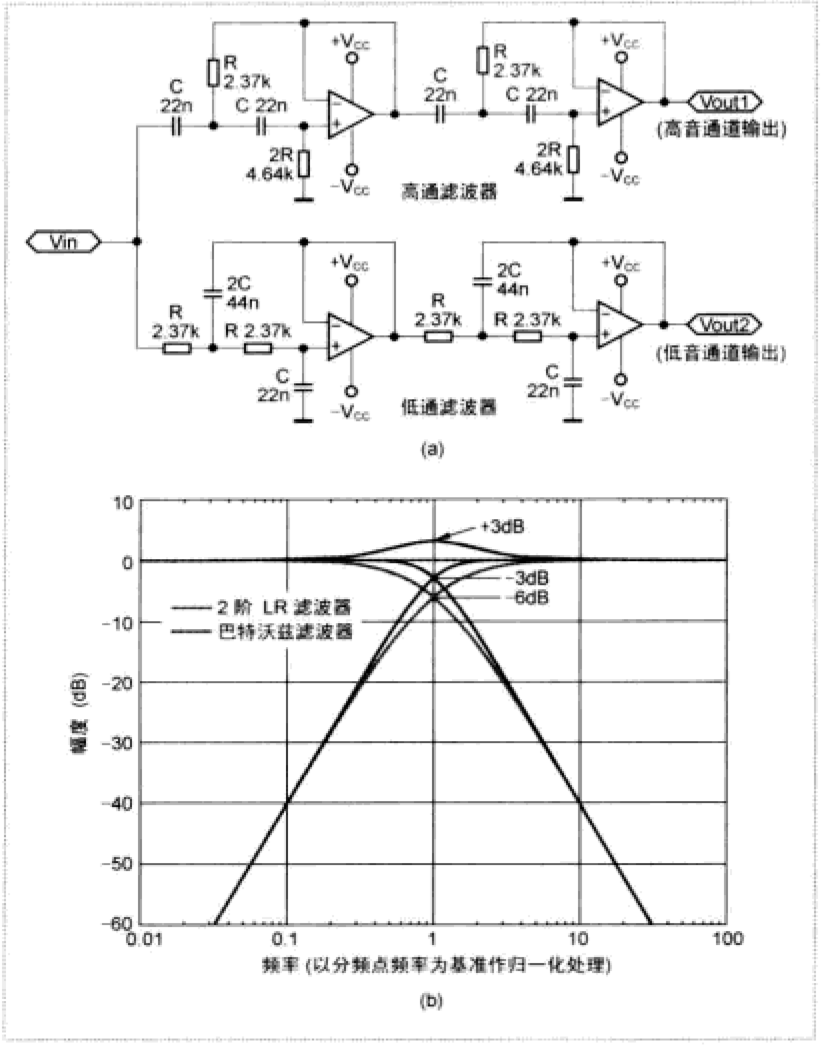


图6 电子分频器

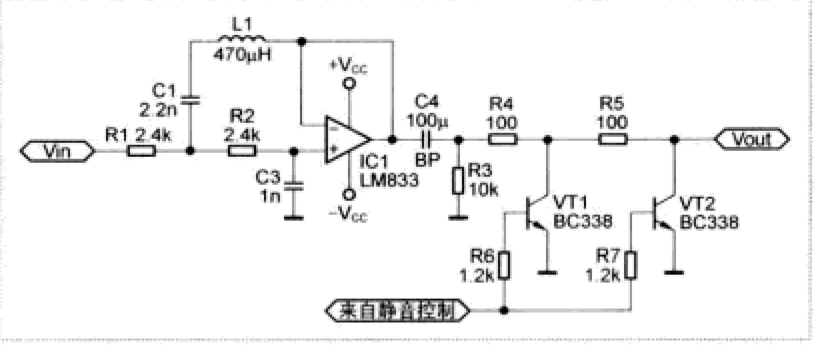


图7 飞利浦CD471激光唱机的LPF电路

电压信号在负反馈作用下，仍保持在很低的幅度，所以不会因箝位二极管的存在而引入失真。

另一方面，这类电流输出型DAC集成电路的输出信号极性，在设计时都做成方便于使用反相式I/V变换电路。因此，若采用同相式I/V变换电路，还至少要加一级反相电路才能获得正确的相位输出。因此，绝大部分的解码器及CD机，均采用这种反相式有源I/V变换电路。无论I/V变换电路采用分立件还是运放电路，均是如此。

有源滤波器

有源滤波器是运放应用的重要分支。运放接上少量的电阻、电容等，就可以制作成常用的低通滤波器（LPF）、高通滤波器（HPF）、带通滤波器（BHF），还可制作特殊场合所需的带阻滤波器（BRP）、陷波滤波器（notch filter）和全通滤波器（allpass filter）。其中，全通滤波器具有只改变相位、不改变幅度的特点，在某些设计严谨的电子分频器中用于校正分频电路的群延时特性，避免扬声器在发出不同频率的声音时，不能同时到达听者的耳朵。

音频用的有源滤波器通常做成通带频响最平直的巴特沃兹（Butterworth）式，或通带相位为线性的贝塞尔（Bessel）式，这是就滤波特性而言。如果按电路结构区分，又可分为正反馈型（国外常称为sallen-key电路）、多重反馈型、状态变量型和GIC型（广义电抗变换型）等。对于Hi-Fi音响来说，使用有源滤波器最多的地方是电子分频器和音频解码电路。

1. 电子分频器

图6（a）所示的是4阶Linkwitz-Riley（林克威治-瑞利）滤波器构成的-24dB/oct二分频电路。电路的上半部分为高通滤波器，输出接高音扬声器所在的通道，下半部分为低通滤波器，输出信号最终送往低音扬声器。

这种Linkwitz-Riley滤波器，实际上是由两级相同的巴特沃兹滤波器（图6所示为两级2阶巴特沃兹滤波器）组成，分频点设在频响曲线的-6dB处，图中的分频点频率为

$$f_p=\frac{1}{2.83\pi RC}=2158\ \text{Hz}$$

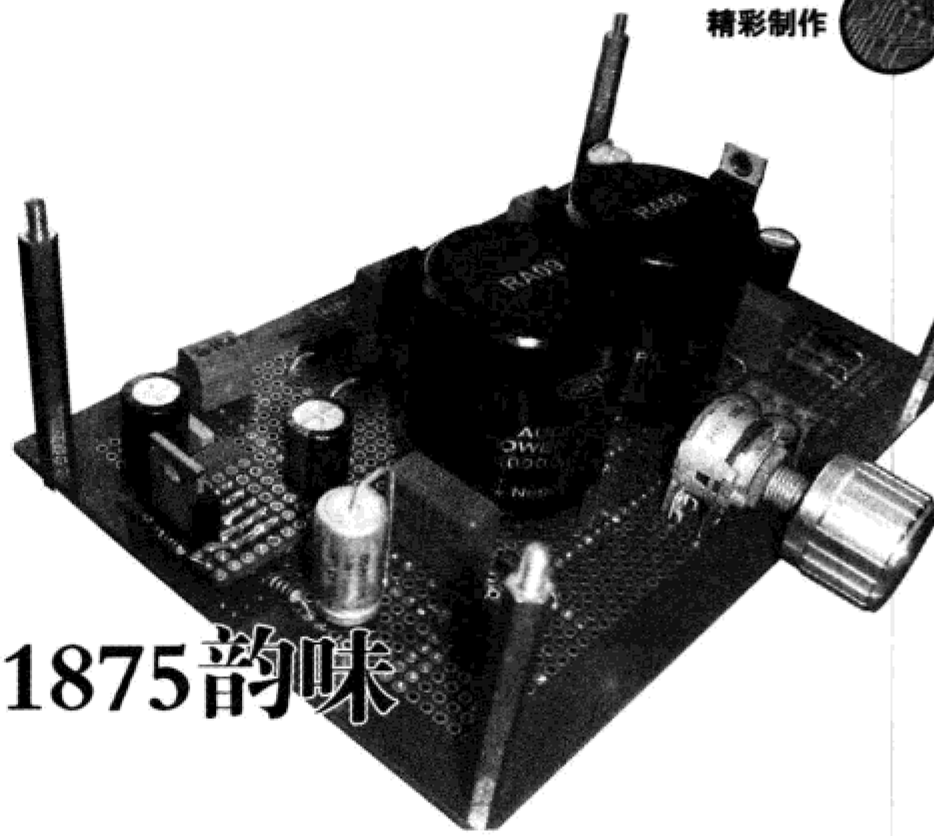
所以，Linkwitz-Riley滤波器只有2阶、4阶、6阶等偶次阶数的滤波器，没有奇次阶数的滤波器。

在电子分频器应用中，存在着高通滤波器与低通滤波器的频响衔接。巴特沃兹滤波器虽然具有通带频响最平直的突出优点，但是，由它简单构成的分频电路，却有整体频响不够平直的缺点，即频响曲线在分频点附近有+3dB峰值隆起，如图6（b）所示。而由Linkwitz-Riley滤波器构成的电路则可以消除这一缺点，因此被广泛应用于电子分频设备（尤其是现代专业音响设备）中。

2. 音频解码电路中的抗混叠滤波器

在CD机、音频解码器中，为了准确恢复编码前的音频信号，保证声音品质，需在I/V变换后加上抗混叠滤波器，以去除音频带以外的高频混叠信号。这种滤波器，实际上是转折频率略高于音频高端的LPF。图7所示的是飞利浦CD471激光唱机的LPF电路。

图中的运放LM833构成sallen-key电路，其特点是运放构成同相放大，工作稳定可靠。这种电路只使用电阻、电容时，多做成2阶滤波器，但图中加入了一只电感，因而构成了3阶滤波器，滤波效果更好。电路的转折频率约为47kHz，滤波特性为巴特沃兹型。输入信号取自I/V变换运放的输出，输出端处接有静音控制，由三极管执行静音操作。



◎梁文志

重温经典器件 品尝1875韵味

初识1875是在网上，有很多玩功放的人都接触过它，在音响发烧友的高度关注和影响下，我开始收集有关1875的资料，发现1875是一款非常经典、性价比很高的芯片，而且它与同门兄弟LM3886在音响界已家喻户晓。

在这近半年里，我做过多个版本的1875，在此和大家分享的是我最为欣赏的经典版1875！

我多次制作的1875功放电路都是基于官方电路上改来改去，其效果不太明显。本文推荐的LM1875功放（图1）也是一个官方电路，个人感觉其声音并不亚于胆前级的功放电路。

LM1875的性能

1875全称LM1875，是由美国国家半导体公司生产的一款高保真单声道20W的功放芯片。它采用TO-220-5封装，实测最大输出功率超过25W，静态电流为50mA，1kHz、20W时失真为0.015%；工作电压单供电为16~60V、双供电为8~30V。它的耐压达到了双30V时，最大输出电流为4A。LM1875有5个引脚，1脚为同相输入端，2脚为反相输入端，3脚为负电源输入端，4脚为音频输出端，5脚为正电源输入端，外围元件相当少。

真假1875的识别

由于LM1875口碑比较好，市场上出现了一些假货，它们的性能指标和原装产品有较大差异。在此向大家介绍一下真假LM1875的简单判别方法。

1. 从价格看真假：原装的LM1875一种是白字（油漆字），另一种是激光字，其白字生产日期较早，单个的零售价在7~10元，若价格过低，则怀疑是假货。

2. 从字体看真假：LM1875上一共刻了两行字，第一行是国半公司的标志，紧接着是芯片的编号。第二行写着LM1875T，这两行是左开头对齐的，若没有对齐，则必定是假货。在芯片正面的左下角有一个小圆圈，里面写有字母。若为激光刻字，则字体为褐色，并非我们常见的灰色。

3. 从外形看真假：芯片的面部没有两个向内凹的半圆，若有则必定是假货。其芯片整个身体为磨砂的黑色，没有光滑闪亮的地方。

4. 从背面看真假：从背面看主要看散热片，散热片左、右两个缺口为弧线或半圆，早期的白字版1875散热片颜色暗淡、陈旧，甚至散热片左、右缺口不对称，这都是真的，只有在早些的“波浪板”1875散热片左、右两边是直角的，其他全为弧线或半圆形。

5. 从包装看真假：购买的时候最好让卖家给你看包装，原装的1875包装为工字型管装，有褐色和透明管两种，背面印有国半标志和相关信息，硬度也较高（图2）。

6. 从耐压看真假：官方给出的数据最高为60V，我们可以借助可调电源，使其输出双30V，并接至芯片的3脚和5脚，若是假货，则芯片迅速发热并损坏。这时要马上断电，若通电十几秒钟基本没有升温，需使劲地摸才感觉到温热的则是正品。实测耐压

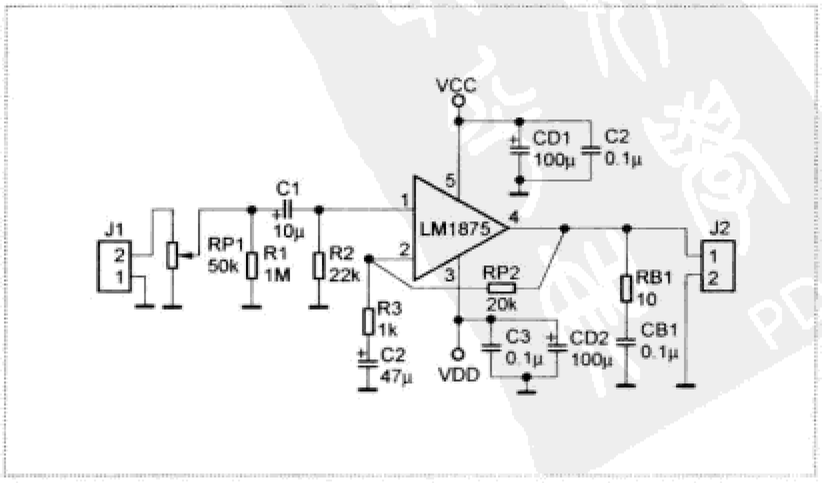


图1 官方提供的电路图

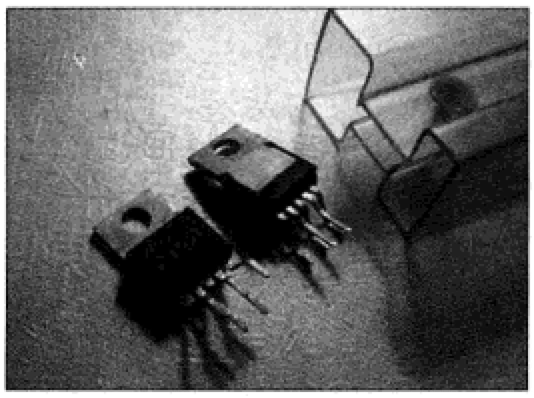


图2 原装1875和包装

图3 焊接好的滤波电容

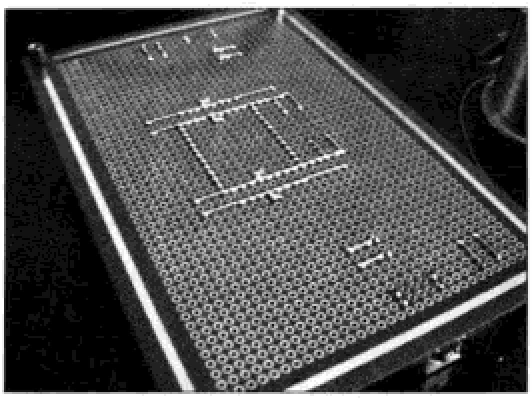


图4 滤波电容使用较粗的连线

达到了双32V（有效值），基本就可断定没有问题了。

功放的制作过程

1. 电源电路

在电源电路中采用6A三肯快速恢复二极管进行整流，该整流桥最大整流电流可达12A，为了避免峰值电流超过二极管最大整流电流，采用了较大电流的整流管以保证安全可靠。滤波电路采用10000μF诺华电解电容滤波（图3），每个大电容两端并联一个小电容（0.1μF WIMA），小电容用来滤除高频杂波，电源电路是整个电路中电流流量最大的部分，在设局布线时尽量把导线放宽些，以适应大电流的流畅（图4）。

2. 反馈网络

LM1875输出端4脚的20kΩ反馈电阻至2脚反相输入端形成反馈网络。反馈量的大小由反馈电阻值决定，反馈过浅，失真较大，不能起到抑制能力，反馈过深则也会带来副作用，我们尽量不要改变反馈电阻的阻值。由2脚至4脚的反馈回路要尽可能短些，这样可有效地避免电路带来的干扰。

3. 菇贝尔网络

很多放大器为了提高稳定性使用了菇贝尔网络，它的元件少，成本低，因而被广泛采用。它是由一个电阻和一个电容串联后并联在扬声器两端的。电阻阻值一般取10Ω，电容值一般取0.1μF，很多功放都采用这个数值，实际上这个取值也是比较合适的，不同的电路都可以这样设计。

4. 万用板的使用

（1）元器件在板子上的位置尽量不要与电路图中的位置差别过大。

（2）为了让走线流畅，尽量缩短连线的长度，且尽可能使用跳线，也可用磁珠做跳线。

（3）输入、输出的信号线要尽量地远离，以免造成干扰。

（4）电源线和地线比其他引线要略粗些。

（5）电路中若有两个电感，它们之间的距离最好超过50mm，否则会产生串扰，也可将一个电感与另一个电感成90°摆放，这样两个电感之间的距离就不用过远。在D类和T类功放的电路板上，可看到两个电感线圈成垂直90°摆放。若几个输出电感同方向摆放且靠得很近，必定会产生串扰，这样会使性能优异的板子变得很平庸。

（6）正、负电源线、地线尽可能靠近，或用扎带扎紧，这样可减少向外辐射引起的干扰。

5. LM1875转接板的制作

由于万用板的焊盘距板子边界有一定距离，使得芯片安装

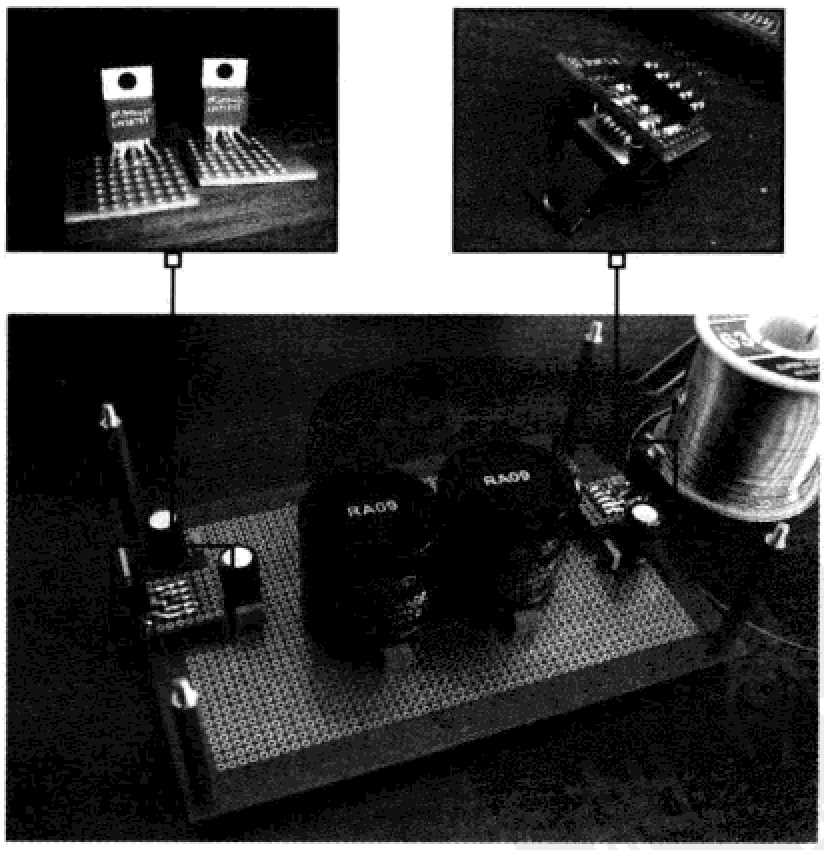


图5 正在安装的电路板

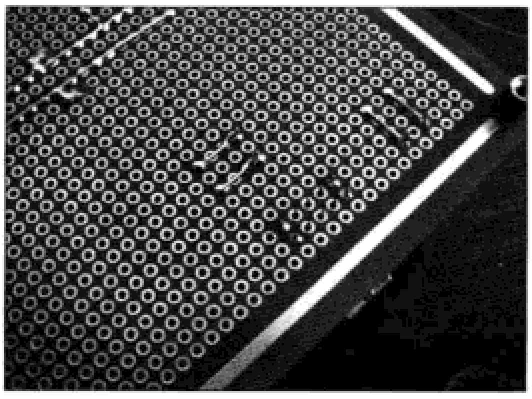


图6 网线铺铜

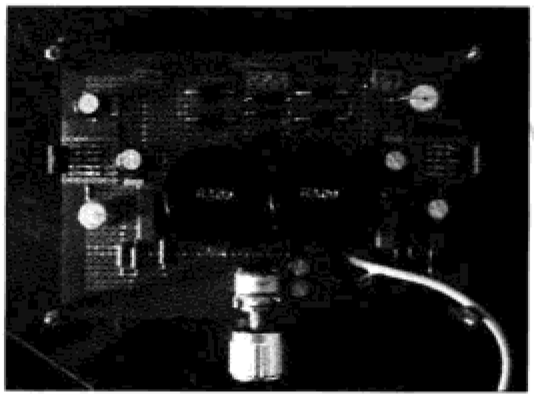


图7 顶部特写

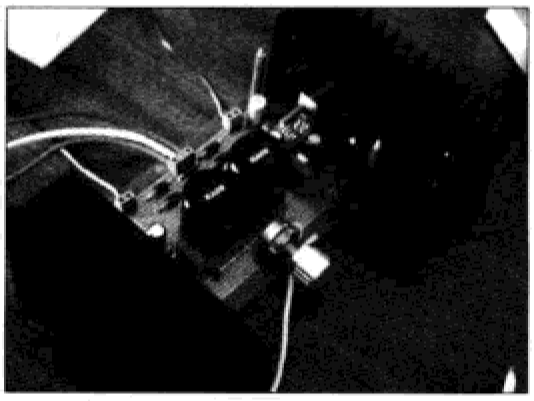


图10 酷似甲类的1875

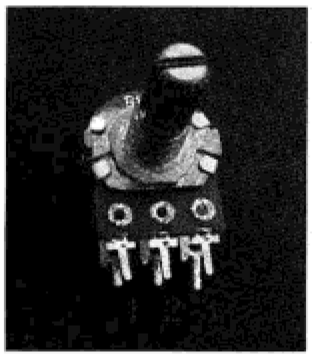


图8 电位器实物

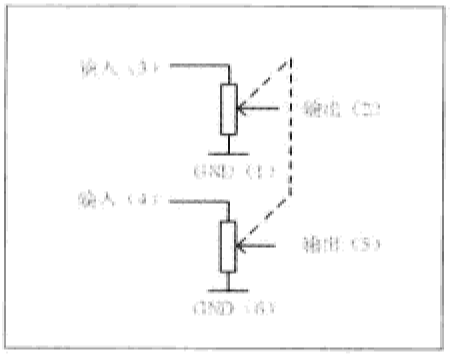


图9 电位器电路图与对应引脚

后无法安装散热片，因此在不损坏板子的前提下，我制作了转接板，即将环氧镀锡万用板切成小方块，再用磨石打磨光滑，将芯片慢慢插入并焊接，再焊上两排插针，之所以要焊两排，一是为了固定可靠，二是为了能够顺畅的通过大电流（图5）。

由于万用板是穿透式过孔，所以焊接的速度一定要快，否则焊接时间过长，在持续的高温下，锡会从正面流向另一面。

网线很适合给万用板做铺线，由于它是单股铜线，且粗细适当，将理直的裸铜线插入焊盘约2mm，手按住焊盘，将裸铜线弯折至90°再用透明胶带将一头粘住，防止铜线脱离板子，用烙铁焊住焊盘将其一边固定，再将胶带撕去，一点一点将焊盘点上焊锡即可（图6）。

6. 关于电位器

本来没有给电位器预留位置，也没有安装电位器的打算，但发现万用板上有一块空余的地方，于是就安装上电位器和输入耦合电容（图7），音频信号从三根接线柱进入。电位器使用的是ALPS 16型50kΩ双联电位器，耦合电容使用的是nichicon-BP无极音频系列10μF/50V的。

曾有几位同学问过我音量电位器怎么接，在此，我简单说一下：音量电位器所用的是双联电位器，一般有50kΩ、10kΩ等几种规格（图8）。这种电位器有6个引脚，1端和3端是电位器的标称阻值，即最大阻值，中间为轴头即触片，调节旋钮就可以同时改变1、2端和2、3端的阻值，但1、3端阻值固定不变，在连接时按图8、图9所示的对应起来即可。

ALPS16型50kΩ的双联电位器其引脚也较粗，在很多功放里都有它的身影，它还有个同族的“哥哥”——ALPS 27电位器，俗称大蓝壳，实测两种电位器，两联的误差在1%以内，实际试听差别也不大，不过一些高档的机器都使用了多刀开关，并焊接了若干电阻分压来做电位器，它们的精度更高，不过这里使用ALPS 16型足以了。

7. 散热片的安装

正好有闲置的两个相同的铝制散热片，尺寸是：14cm（长）×4.4cm（宽）×8cm（高），基板厚5mm，分别装在电路板的左右，这个看起来酷似甲类功放（图10）。

功放没有做外壳，虽有一定的观赏性，但长时间使用会附着很多尘土，所以大家要是制作，可选购一个小铝壳，或者自己DIY。

经过5天的奋战，“经典”版1875完工了，我小心地将变压器二次绕组接在接线柱上，使劲地用螺丝刀拧住，激动地通上电，用手触摸音频信号插头，出现了“嗡嗡”的响声，成功了，静态下噪声极低，贴在扬声器上能听到微弱的噪声，各个元件温度正常。

试听

打开我的CD机，试听比较喜欢的《民歌蔡琴》里的《被遗忘的时光》、《你的眼神》、《恰似你的温柔》、《想你的时候》等，每一乐曲都比较到位，发挥出了1875的魅力，细听低音、高音，声音清晰、明亮、耐听，整个声音呈中性，动态理想，达到了预想的效果。

整个电路结构简单，成功率高，初学的朋友也不妨试试。这款功放没有使用昂贵的发烧元件，但简洁的电路设计，合理布局让我品尝到了1875的韵味！

话说音响中的电容校音

◎Sky kwong

一杯茶，一盏灯，一把烙铁，几段锡丝，忙至凌晨3点，累得汗湿衣衫终得完工，屏住呼吸，小心翼翼地开机，一切正如预期的那样，优雅的乐声伴随着久久不能平复的心情……

提到摩机，大多数烧友都有这样经历，要么蠢蠢欲动，却无从下手；要么胡乱替换，却唐突了佳人；要么花大价钱，升级到无需打摩的地步。当然，不是所有机器都是可以打摩的，一些经典的器材，你甚至不能随意改动走线的位置。之所以选择打摩，一来打摩的对象的确具有打摩的价值和提升的空间，二来打摩的过程充满乐趣，况且还能从中学到很多知识。

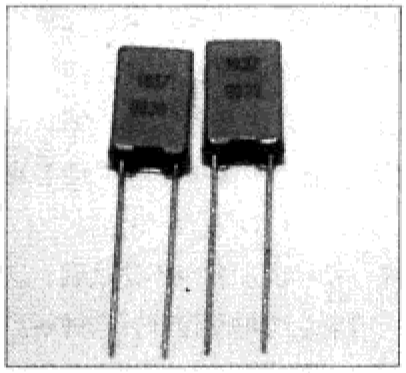
通常摩机最吸引人的地方是可以用很小的代价使器材性能有较大的提升。个人不提倡一些极致玩家的打摩方式，即花费超越了器材本身的价值。打摩具有相当高的自由度，任意发挥，通过选择不同品牌、不同型号的元件，搭配出不同风格的声音，找到你最爱的那一种，这也就是摩机令人着迷的地方，摩机的最终结果将取决于你的学识、经验和技艺。

当然身边也有一些不同的声音，有人认为一件完整的合格产品，经过人为的改动，既破坏了器材硬件的完整性和器材原有的声音，还会造成安全隐患并影响器材的使用寿命，实在得不偿失。这样的担心有一定的道理，所以，摩机首先是要确保器材和人身的安全，其次才是得到你满意的效果。

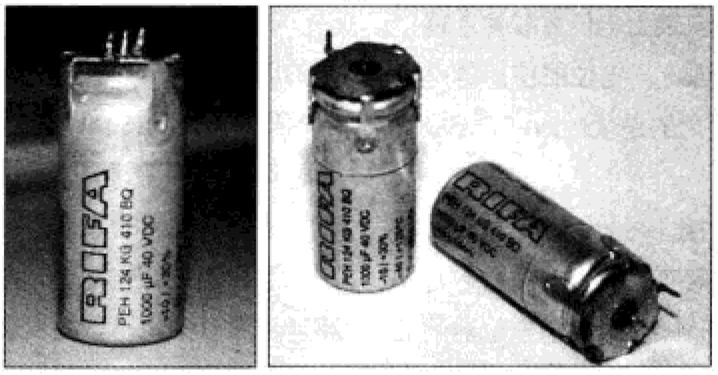
在音响器材中，影响音效的元器件和因素有很多，本文主要谈谈电容对音效的作用。想让你的机器经过电容的重新搭配后，声音发生巨大的改变，轻易击败原来的机器。要对机器中的电容进行精妙的搭配，除了你手头有足够多的精品电容外，还必须有一对足够灵敏的耳朵，因为在这个过程中，仪器能提供的帮助非常有限。尤其是薄膜电容，常用的仪器几乎不能发挥作用，这时候要全凭你的评价标准和耳朵来验声。在搭配电容时，先固定下容量大的电容，然后再选择容量小的电容，这时候每个位置可能都有几个品牌的电容供你选择，除了耐心地对比之外，你没有更好的选择。当你把每个电容固定下来之后，还必须做一个反向的工作，那就是把你加上去的电容再按从小到大的顺序分别进行替换，看看声音有没有变化。因为我们对电容的重新组合是从多个地方动手的，这样对声音的修饰可能会有重叠，因此最后这一步是必不可少的。如果你取下一个电容后，声音并没有改变，那就是说你的修饰出了问题。无论是设计一个电路或是进行一次摩机都要明白，我们所做的一切都是为了还原信号，我们的修饰只是在信号确实无法完整地还原时所采取的不得已的手段。因此在摩机的时候，就必须遵循这样一个原则，离信号最终输出端越远的地方，你越要考虑还原问题，而在离输出端较近的地方，信号可能已经出现了不可避免的失真和变形，这时候可以多考虑怎样克服失真和变形的问题，即修饰问题。

ROE电容

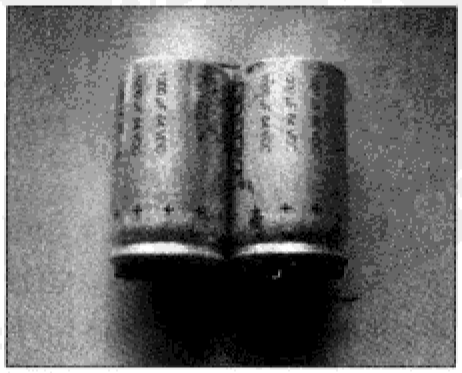
ROE电容是德国著名电解电容生产商ROE(Roederstein)生产的公认最好声的电解电容。它具有经典的德国声、严谨冷静、全频均衡、高频清晰纤细、低频扎实有力、速度瞬态皆好、音场开阔、声音十



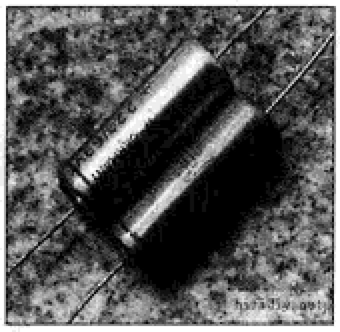
ERO1837 0.1μF



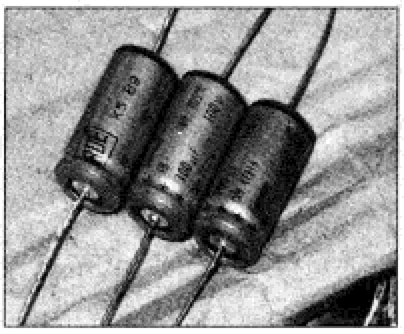
RIFA PEH 124电容



RIFA 1000μF电容



ROE 220 μ F



ROE 100 μ F 100V

ROE 10000 μ F电容

ROE 4700 μ F

分大气。ROE电容的音色最柔美，是不可多得的极品音频电解电容。

例如：我们要摩机一款CD机，需要动手组合电容的地方有3大块，一是转盘供电部分的滤波电容，二是数模转换以及随后的运放滤波部分，三是输出耦合部分。其中离最终信号输出最远的是第一部分，最近的是第三部分。因此在转盘的供电部分，尽量注意还原而不是修饰。在目前能找到的高级电容中，对声音修饰最少的应该是这款ROE电解电容，因此在这一环节可以考虑用这款电容，而不是RIFA和思碧电容。ROE电解电容是德国著名电容品牌，据说ROE电解电容可以和SPRAGUE电容相媲美，欧洲的音响器材中ROE电容用得很多，SPRAGUE电容与ROE电容是Hi-End 音响器材中的代表性电容。我们可以用Krell的功率扩大机来作为典范，Krell的功率扩大机主滤波电容是sprague电容，输入级与驱动级的电容器采用了ROE电容。在Krell的前级以及数字器材里所用的ROE电容一般采用的是一种猪肝色塑料壳包装，EK材质的品种。EK型号电容为胶木外壳，环氧树脂封底，能有效降低震动，几乎无任何泄露。

ROE电容大部分是金黄色的外皮包装，装在机箱内部线路板上一片金黄非常抢眼，令人不由得联想起泛着黄金般光泽的音质与音色。

ROE电解电容具有鲜明的特点，其声音和银线的声音很接近，非常华丽，解析力高得惊人。它的定位异常准确，高频非常顺滑，其低频下潜得很深。对于一款世界名牌的电容，其低频下潜得很深，这并不出乎我的意料，但是其低频居然比RIFA电容下潜得还深，这是我没有想到的。但是其低频的力度不如RIFA电容控制得好，显得有些浑浊，低频的质感也不如RIFA电容。如果听交响乐，那么ROE电容是首选，各个乐器的定位很清晰，表现得从容不迫，再复杂的音乐也可以交代得清清楚楚。ROE电容是追求Hi-Fi效果的听友的首选，从技术的角度来讲，ROE是难得的作品，但是又过于精确，导致其音乐打了一定的折扣，使你在听音乐时，有很难融入到音乐中的感觉，你可以明显感觉到你和音乐之间的距离。太精确的东西就没有诗意了，哲学家狄德鲁说得一点不错。ROE和德国的WIMA很相似，都很技术化，但是缺乏诗意。ROE的电容也基本上不发热，开机很长时间后摸着还不热。ROE的电容上面不写出厂日期，这样很难判断其未来还能用多少年。

尼尔康电容

尼尔康（NICHICON）是日本最大的电解电容供货商之一。在电解电容器技术领域里该产品一直雄居领先地位。该产品涵盖了引线铝电解电容、顶级音响电解电容、SMD铝电解电容、SMD钽电容、薄膜电容器等，可分为MUSE系列和KG系列等，其中MUSE系列是比较高级的，MUSE系列的声音通透、低频速度不错、中频亲切、高频清晰、全频比较平衡、正切损耗小，是一款比较中性的电容，适合搭配各类器材。

1. 尼尔康MUSE FINE GOLD系列：它是其MUSE系列中的音频专用耦合电容，金皮黑字，适合做耦合电容用。它的声音通透清澈，声底干净利落，层次好，低频紧凑，高频有穿透力，唯中频稍淡一点。整体上偏向Hi-Fi性，清爽有劲很现代的感觉，适合做AV系统、DVD和MD的耦合电容。它采用高纯度无氧铜引脚。

2. 尼尔康MUSE KZ系列：它是MUSE系列中的音频专用耦合电容，黑底金字，适合做耦合、退耦和滤波电容。完全不同于FINE GOLD系列的声音，它的声音通透，低频速度不错，中频质感很强，高频较柔顺，正切损耗极小，基本是我听过的电容里最接近BLACK GATE的电容，KZ电容性价比较高。

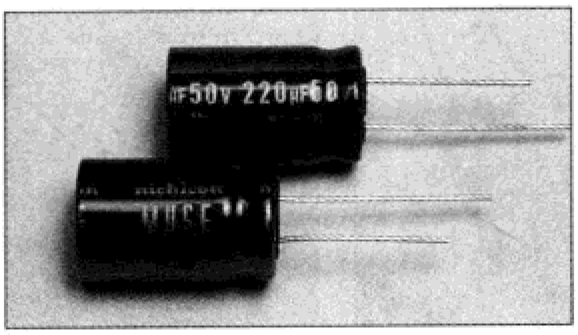
3. 尼尔康MUSE ES(BP)系列：它的表现非常出色。BP代表无极的意思，虽然是电解电容，但是没有极性限制，适合做耦合电容。BP电容是绿皮黑字，它的声音与尼尔康MUSE FINE GOLD系列的相同，A8T输出耦合就使用了MUSE系列中最顶级的BP电容。

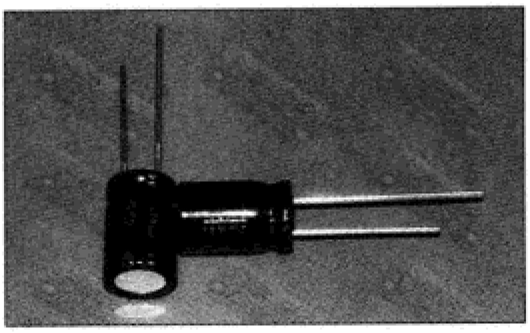
4. 尼尔康KG系列：它是音频专用大容量高压滤波电容，仅次于金脚系列。外观金字黑皮，适合做电源主滤波电容用。它采用高纯度、无氧铜、大电流、插针引脚。它的声音与尼尔康MUSE FINE GOLD系列的相同。在KG系列中还分为3个挡次：FINE TUNE电容采用了改进配方电解液，提供较高的性价比。GOLD TUNE电容为中级产品，改进电极和其他很多地方。SUPER THROUGH电容为高级别产

品，镀金脚，提供最好的声音。

5. 尼尔康MUSE FA系列：它是老版MUSE系列里的最高规格的音频专用电容，绿底白字，适合做耦合、退耦和滤波电容用。该电容属于旧系列电容，素质介于新系列中的顶级KZ系列和中级的FINEGOLD系列之间。它的声音通透，低频速度不错，中频亲切，高频清晰，全频比较平衡，正切损耗小，是一款比较现代的中性的电容，适合搭配各类器材。尼尔康NICHICONPF系列铝电解电容器，是105度长寿命高信赖品，寿命达到8000小时，主要适用于要求较高的整流器和电源滤波。从个人喜好说，它与伊娜ELNA都是我很喜欢使用的品牌。近年来，美国KRELL及加拿大CLASS'E AUDIO的Hi-End后级新机种也采用了尼尔康电容，其实力不可小觑，能够被这些 Hi-Fi名厂选中的电容，足以说明厂家的技术水准和产品素质。

电容有分频的作用，不同的容量的电容可以让不同频率的信号更好地通过，一般大容量电容适合低频通过，小容量电容适合高频通过。通常在主滤波电路使用两个3700μF的电容，也有用4700μF的，所有的信号都通过这两个电容，这就导致低频信号比较畅通，高频信号会出现衰减，所以我们要再并联两个小的优质薄膜电容，为高频信号提供直通的途径。为了使各个频段的信号都有专用的通道，滤波电容也应该用不同容量的电容进行搭配。比如说选择同一厂家、同一型号、同一电压的大小不同的电容并联。具体的选择为2200μF、1000μF、680μF、470μF、220μF、100μF，低于100μF规格的可以考虑薄膜电容。但是目前市场上很难找到这么齐全的ROE电容，因此只能用2200μF、1000μF和470μF规格的电容搭配，注意：1000μF的要用两个，让每个声道的容量达到5000μF左右。如果容量太小，机器读盘不好，会跳盘。为了照顾高频信号，必须用一些优质薄膜电容，建议使用10μF、1μF和0.1μF的


尼尔康MUSE KZ



ERO薄膜电容。如果感觉声音过亮，也可以加一个思碧的电容，容量在1~2μF，思碧容量不要偏离这个容量太多。不管是否加思碧电容，容量最小的那个电容一定要用ERO的，这对音场的影响极大。在这一步也可以不用这么多的电容进行复杂的搭配，只要出好声，电容数量越少越好。

ERO薄膜电容

ERO薄膜电容以“最平衡音色”而闻名，可以说在全频的透明度、音场的层次感、声音的质感、中频信息量、细腻程度、高、低两端的解析力诸方面都有出色的表现。音色为中性，但有种淡淡的甜美，让人联想到小姑娘清脆的笑声。用ERO电容听清脆的女声十分好听。听交响乐时，丝丝入扣，场面也交代得非常清楚。在摩机的过程中，当你为选何种音色电容而举棋不定时，ERO是最好的选择，无论是性能还是精度，都能满足高标准、高要求的电路。

瑞典RIFA 电解电容

该电容被誉为“极品中之极品”，主要是因为RIFA电容内部的等效电感和等效电阻都比较低，它所能承受的电流比较大，充放电的速度比较快，因此，它能应付强大的动态以及低频所需的大电流。相对于功放在低频大动态时的表现就不言而喻了。更可贵的是它的高频之靓少有匹敌。RIFA电容的低频的下潜没有思碧电容深，量感上也没有思碧电容来得多，但是质感相当好，富有弹性、松而不肥、荡而不浊，中频段的质感饱满、坚实而不硬，高频段顺滑细腻，有良好的空气感、丝丝入扣。

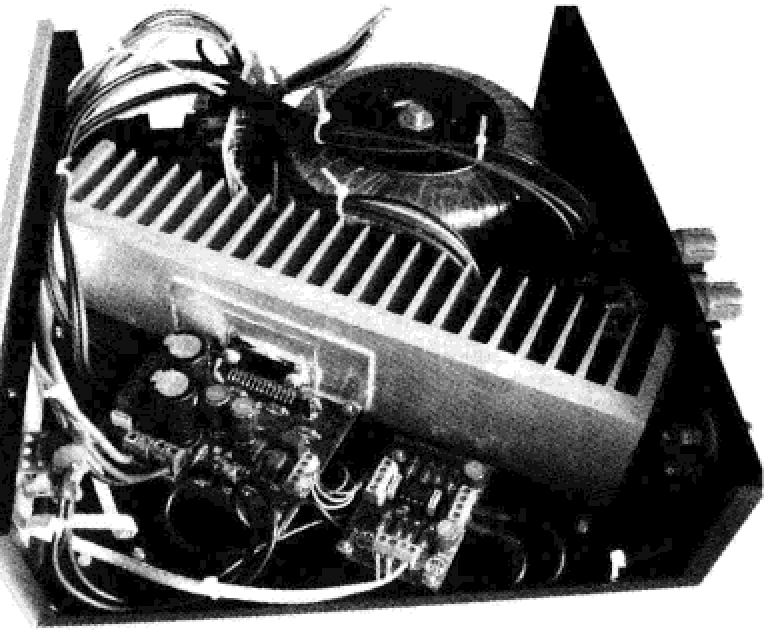
RIFA电容中电解电容的品种相对来说比较少，常见的有PEH-169、PEH-124、PEH126等。RIFA的电容一般不标什么“for audio（音响专用）”，其寿命都比较长，而且声音比较好，这和其他厂家形成了较鲜明的对比。其中PEH-124的使用寿命较长，PEH-169的使用寿命较短，标明的为10年。PEH-126的标称温度最高，可以高达150℃。从网站上提供的参数看，这3个产品似乎并不是并行的产品，而是上下互相补充的产品。如PEH-124系列的耐压和容量都不大，那些大容量、高压的品种都在PEH-169中出现。RIFA的产品外面都有一个比较厚的塑料绝缘套。PEH-169系列的电容是2个脚，接线要用螺丝固定。

另外要注意的是，PEH-169系列的电容里有大量的电解液，摇起来哗哗响，一般来说，摇起来不响的其使用寿命可能就不会太长了。

RIFA EG124系列100V/47μF卧式电容：有较佳的高音通透性和空气感是装机极品。个人使用的是RIFA电容PEH-124系列40V/1000μF，1996－2002年产品，每组4只并联凑成4000μF为CD的数模转换和运放供电，效果极佳。其效果主要表现为：（1）音色极为优美，各音域表现异常全面，几乎无懈可击。（2）速度非常快，决不拖泥带水，在小动态时优美动听，在大动态时从容不迫，轻而易举的完成爆棚。（3）细节非常丰富，表达非常细腻，是极具有胆味的产品，是去除数码声的利器！

我的*LM4780*功放制作实战

◎任杰



记得大概在初中的时候，我用TDA1521焊接了我的第一个功放，当一个随身听（磁带放音机）的声音经过它放大到响彻整个屋子时，我的心情有多么激动啊。记得当时用的变压器是从9英寸的黑白电视机里拆的，所有元器件也都是拆自废旧家电，没有电路板，元件引脚搭接到一起（就是现在所说的“搭棚焊”）。当时不懂得如何布线，按照原理图连通了就行，也不知道如何选择元器件，只是对照参数找，不敢有丝毫更改。

2007年秋，当我刚刚踏入大学校园的时候，就看到了《无线电》杂志当年5月份的一篇文章中提到了国半公司的LM4780，当时就萌生出用它制作功放的想法，但由于种种原因，这一愿望未能实现。一晃三年多过去了，大四的我时间相对比较充裕了，各方面的能力也有了一定的提升，是时候来完成这么一个制作了，于是立刻开始行动起来。

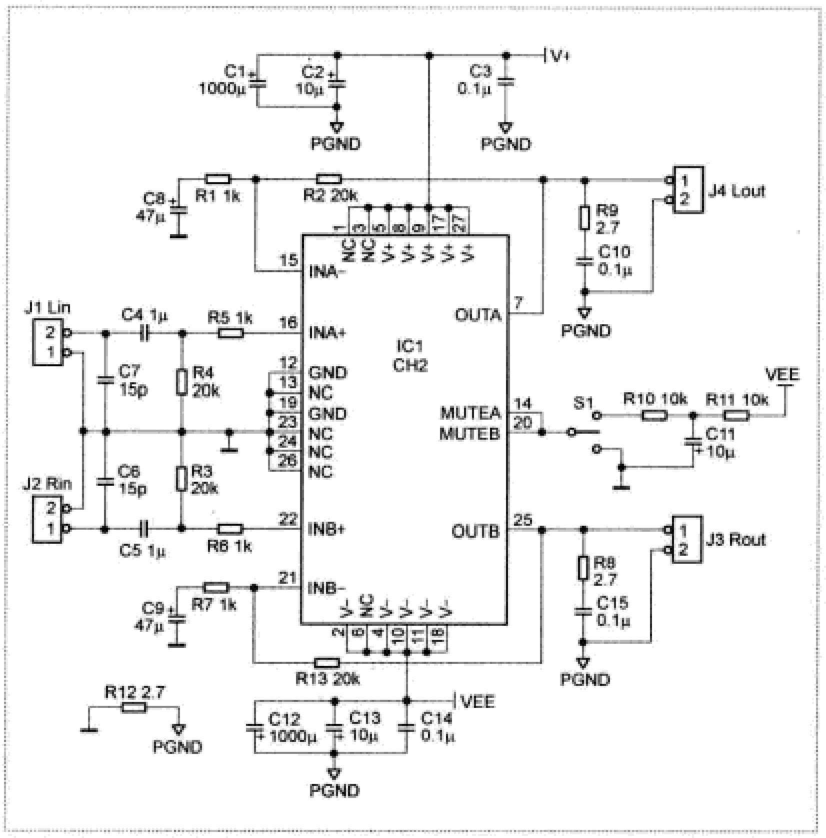


图1 LM4780应用电路图

电路设计

这是我第一次制作大功率的AB类功放，这样一项制作投入的成本对于我一个穷学生来说是相当高的，所以一定要保证一次性成功。为了降低制作难度，我打算将电路分成电源部分、前级放大部分和功率放大部分几个模块来做，这样的话，即使某一个部分的电路出现了瑕疵，也不至于对整个电路改动。

1. 功放电路

LM4780在往期的《无线电》杂志上不止一次介绍过，电路原理也与其他的AB类功放大体一致。图1是本制作功率放大部分的电路原理图，完全按照官方数据手册提供的参数画出。图中由R10、R11和C11构成开机静音电路，具体的静音时间可以由手册中的公式算出。采用图中的数值，在电源电压为±35V时，计算得静音时间大约为0.1s。为了PCB布线的方便，这里将LM4780内部部分空置的引脚就近接到了电源端。

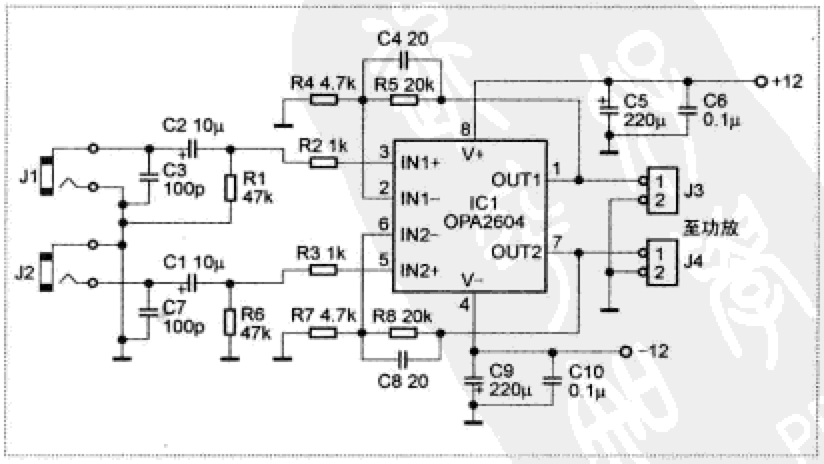


图2 前级放大电路

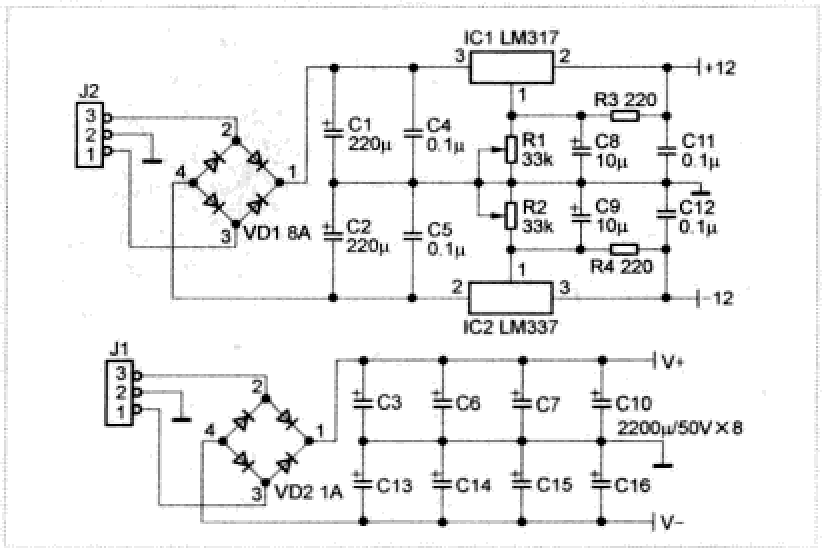


图3 电源电路

2. 前级电路

按照LM4780的标准外围电路，电压增益只有21V/V，对于一般的音源来说，这个值偏小，所以加一级前级放大电路是很有必要的。图2所示为本次制作的前级放大电路，电压增益约5V/V。为了运放可靠工作，并联在输入端的小电容C3、C7以及并联在反馈电阻上的小电容C4、C8最好不要省略掉。按照图中的取值，实际上对音质不会产生影响。

3. 电源电路

电源电路采用的是最典型的配置，前级使用一对LM317/LM337稳压后给运放供电，后级功放部分整流滤波后，直接给LM4780供电，电路如图3所示。这里不推荐使用LM78XX和LM79XX系列的固定电压稳压器，因为很难做到很好的配对，导致正负电压差别会比较大。

考虑到LM4780自身的保护功能比较完善，因器件损坏导致输出直流的可能性不大，所以没有添加扬声器保护模块电路。

元器件选择

本次制作之初，最先买回的器件是LM4780，当时正值这款芯片缺货，原装正品的价格高到了70元/片，我当时只买了一片。前级电路中运放价格更是参差不齐，这里用到的OPA2604价格也不算便宜，好在是TI公司的样片，这样，既有了正品的保证，也节约了一点开销。有了好的芯片，其余的元器件也是丝毫不能马虎的。

首先是电源变压器的选择，必须考虑芯片的电源电压范围、要求的输出功率等多方面因素。LM4780的电源电压范围是±10~±42V，±35V供电的情况下的输出功率为60Wx2。为了充分利用芯片的功能，这里按照最大输出功率（即输出60Wx2）的情况考虑，如果假设效率达到60%，那么变压器的功率需要200W。当然实际效率可能没有这么高，但是通常功放不会长时间工作在最大输出状态，并且变压器允许一定额度的过载，所以这里选用200W变压器是比较充裕的。笔者定制的200W变压器一共有三组输出，分别是15V-0-15V（0.5A）、10V(0.3A)和25V-0-25V。其中10V/0.3A的输出原本考虑用作开机电压检测，本制作中没有使用。双15V稳压成±12V后，给前级供电，计算可得，为后级供电的双25V输出的实际功率容量约180W。

其次是滤波电容的选择，滤波电容包括用作储能的大电容和用作退耦的小电容。后级电源主滤波电容使用了4个2200μF/50V的电解电容并联而成，其中3个安装在电源板上，1个安装在功放板上。220μF的前级电源滤波电容以及退耦用的10μF小电解电容选用的全部是nichicon公司的产品。

这里要说明一点，之所以选用外国公司的的品牌，并不是说明国内的产品一定比国外的差，只是电子市场里的元器件鱼龙混杂，充斥的伪劣产品太多，从代理商那里购买品牌产品相对比较放心。这些代理商代理的大多是国外品牌，许多国内厂家（特别是军工厂家）的产品还是很不错的，例如本次制作用在电源板上的6个主滤波电容就是国内厂家的产品。

另外，需要注意的是用作退耦的无极性小电容的选用。一般情况下，选用有机薄膜电容或瓷介电容效果都不错，但是用作功放电源退耦的话，在布局时会放置在离功放芯片很近的位置，而芯片工作时发热量很大，所以最好还是选用瓷介电容，它比有机薄膜电容耐热性要好得多。

接下来说到的是耦合电容和相位补偿电容。这里用到了两种耦合电容，分别是WIMA公司的红色CBB（用作前后级耦合）和nichicon公司的无极音频专用电解电容（用作前级输入耦合和后级反馈电容）。这两种电容总体评价高，应用也比较广，至于与其他电容的不同之处，我还没有体会过。相位补偿电容最好的选择是云母电容，但是我买到的云母电容体积实在是太大了，勉强装在PCB上，实在是影响美观，最后改用陶瓷电容取代之。

最后说一下用到的电阻。我之前的制作大多用0805的贴片电阻，这次使用的1/4W直插电阻。这种电阻价格从不到一分钱一支到几块钱一支不等，个人建议选用时不能图便宜，购买那些三无的产品，也没必要为了追求太高的精度而不惜成本。本次制作选用的是国产的精度1%的金属膜电阻。

PCB的设计

从上述3个模块电路来看，电路的结构是十分简单的，但是合理的布局布线却不是件容易的事情。从这次的PCB设计中，我也学到了不少的东西。

电源电路板用单面板或者洞洞板就能胜任，这回我首次尝试

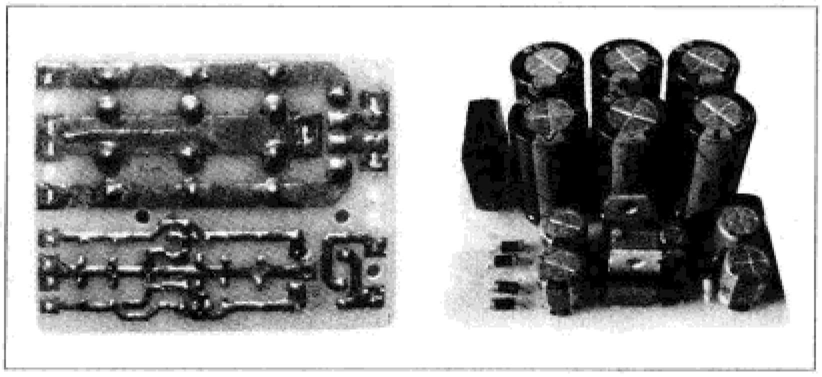


图4 热转印制作的电源PCB

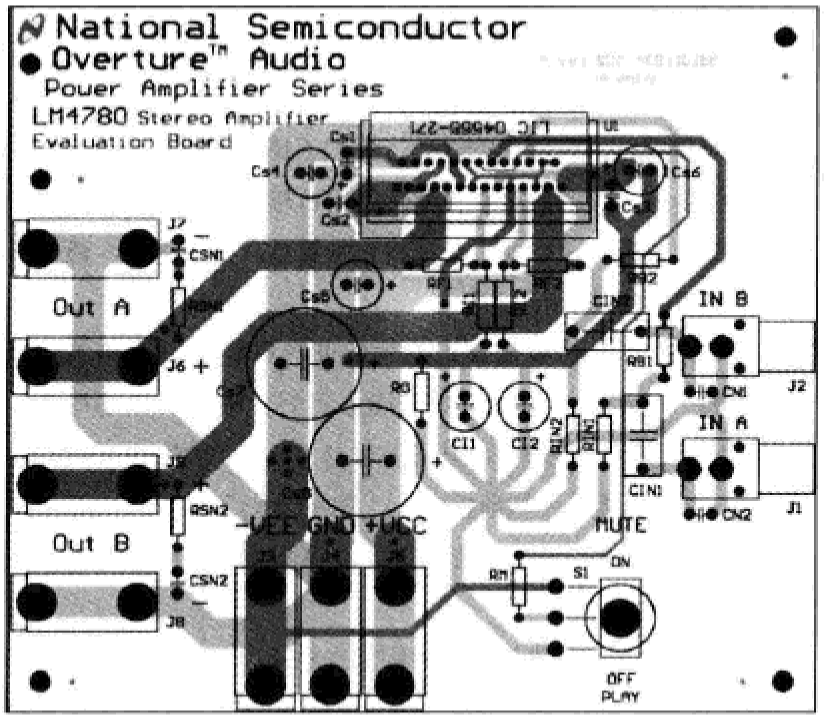


图5 LM4780评估板PCB图（摘自LM4780数据手册）

了热转印的方法制作PCB，最后做出来的电源板如图4所示，虽然看起来比较粗糙，但不影响使用（这里要感谢学校工程训练中心陶老师的热心帮助，让我学会了热转印这种制作PCB的廉价方法）。

功放部分电路的PCB完全参照了LM4780官方数据手册上评估板的设计，可以说是“抄板”。图5和图6分别给出了评估板的布局布线图与我本次制作的PCB实物图。评估板上的布线遵循严格的单点接地原则，从根本上避免了地环路导致的交流底噪，但不足之处是元器件密度比较稀疏，没有充分利用PCB面积。评估板上的退耦电容都尽可能地靠近电源引脚放置，并且对于LM4780这种有多个电源引脚的芯片，在每个电源引脚旁边单独放置退耦电容，这样的设计是可靠工作与优良性能的保证，很多业余爱好者制作时容易忽视这些。另外，为了工作的可靠性，防止产生振荡，电源电路中两个稳压器的输入与输出引脚以及前级电路中运放的两个电源引脚附近都要放置一个0.1μF左右的电容。

焊接与调试

电路用的都是直插元器件，焊接难度不大，但要注意焊接一定要牢固可靠，特别是电源、输出等大电流引脚，焊接时间可以适当延长，使焊锡填满焊盘空隙。最后焊接完成的PCB如图7、图8所示。

焊接完成后一定要仔细检查，特别是使用热转印制作的没有字符标识的PCB，要防止电解电容以及三端稳压器的极性焊错。确认无误后，就可以开始调试了，调试首先从电源板开始。

接入变压器输出绕组，打开电源。正常情况空载时，主电源输出电压为±38V左右。接着调节前级电源的两个电位器，使输出电压为±12V，并尽可能一致，我使用的是3296的多圈电位器，最后成功地将正、负电压差控制在了2mV以内。因为变压器交流输出只有双15V，为了保证稳压器有3V以上的压降，最好不要将输出电压提升到±15V。

调好电源后，开始调功放，实际上也谈不上调，因为没有需要改变的参数，只是测试一下是否能正常工作。这里建议不要一开始就给LM4780功放板加上±38V的主电源，可以先将前级的±12V 用作测试，测试电路正常的情况下再接入主电源。接上主电源后，如果LM4780没有过热现象，接着再测一下输出的直流电压就算完成了。最后测得LM4780的输出直流电压大约

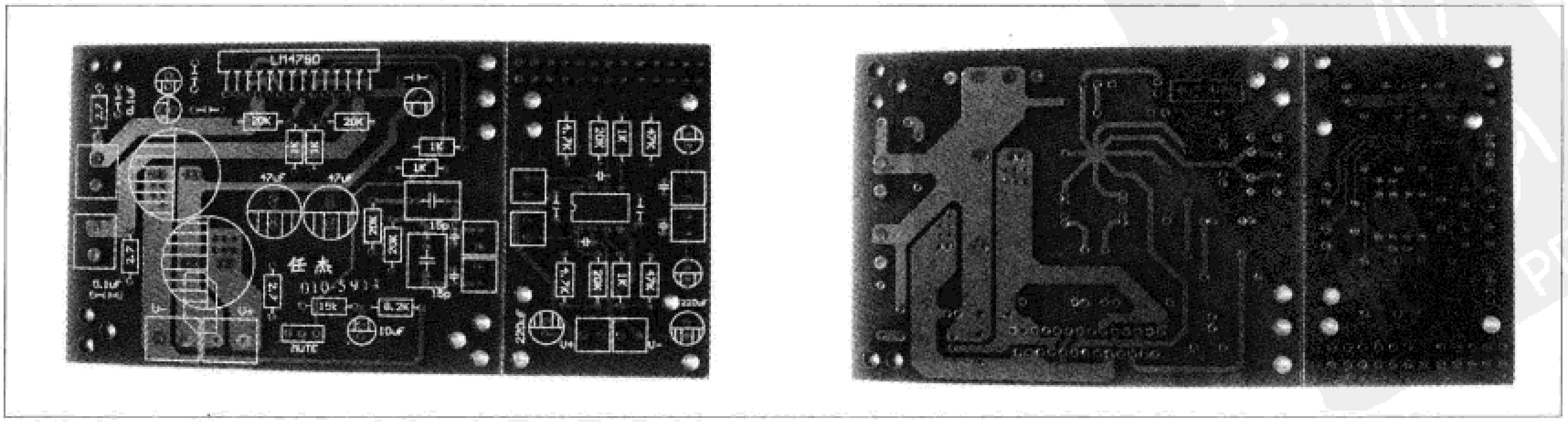


图6 功放部分（左）和前级部分（右）PCB实物图

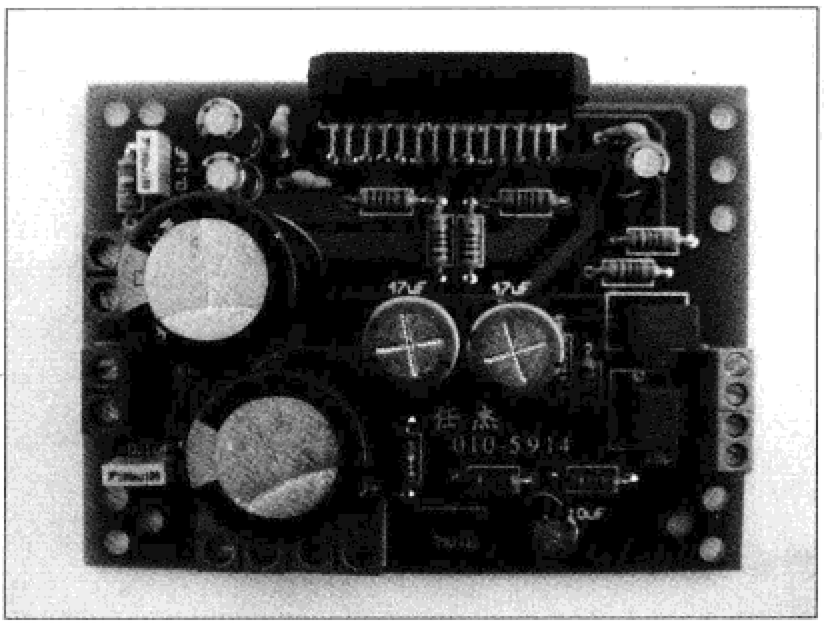


图7 焊接完成的功放PCB

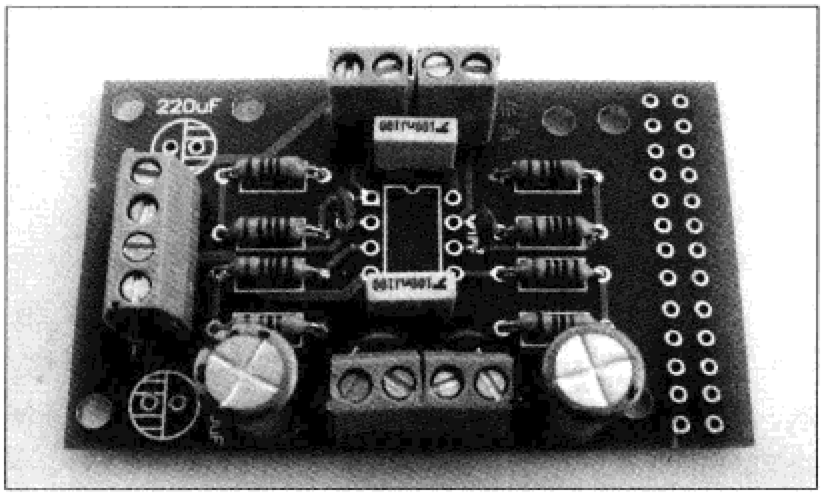


图8 焊接完成的前级PCB

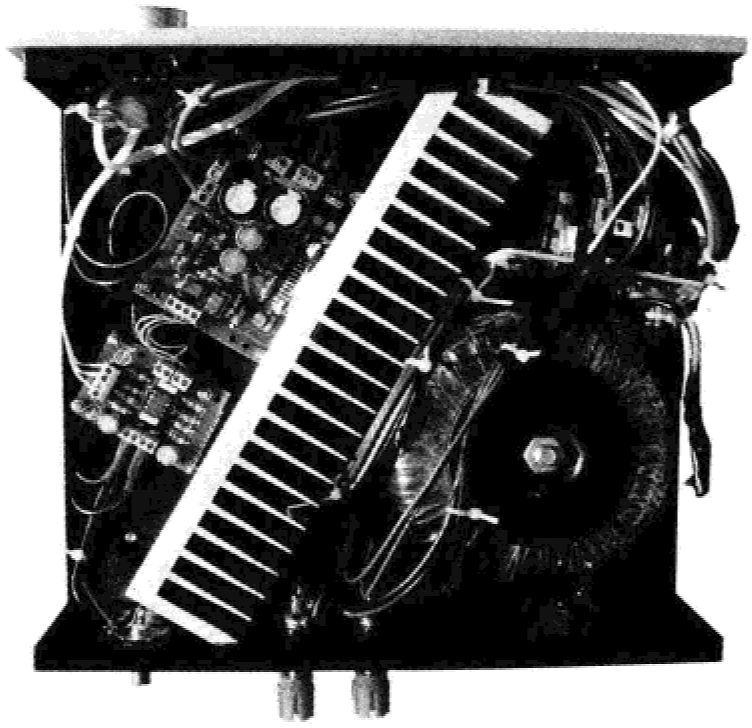


图9 机箱内部布局图

为20mV。

前级电路也基本不需要调试，有兴趣的话可以试一下不同运放输出的直流电压。我试过的OPA2604和德州仪器的NE5532，两者输出的直流电压都在5mV以内，而换成仪表运放OPA2277后输出的直流电压低到了20μV。

各个单元电路调试完毕后，需要给LM4780加上一个散热器才能试听，否则即使在空载的情况下，LM4780长时间通电后也会有烫手的感觉。

组装与试听

以上部分可以说都是电工的活儿，而组装要做的大多是金工的工作了。

机箱是我从淘宝网上购得的，外观不错，内部高度正好能装得下变压器。买回的散热器长度超过了机箱的宽度，但又不舍得将多余部分铣掉，所以最后选择将它斜着放入机箱内部。最后机箱内部的布局如图9所示。

LM4780的发热量很大，必须保证热量能良好地传递到散热器，最好在装配时涂上导热硅脂。另外，散热器最终与机壳一起接地，所以最好保证散热器与LM4780之间的绝缘（不知道LM4780的散热器是否与地相连）。图10给出了本次散热器的装配图，由于LM4780没有伸出PCB，我在芯片与主散热器之间又增加了一块铝片。

接下来的工作是将所有部件固定在机箱内部，散热器的底部打孔、攻丝后用4mm螺钉固定，功放与前级PCB用5mm铜柱支起后，用螺钉固定，由于空间限制，电源板只能侧立安放。

固定好各部件后，就可以用导线将它们连接起来了。输出与电源线选用粗壮的镀银铜线，输入的莲花插座到电位器以及电位器到前级输入之间都采用屏蔽线。这里将电位器放在前级放大之前，有网友说这样可以更好地减小噪声。另外，ALPS-16 型电位器的手柄太长，与机箱的旋钮不搭配，只好用工具将手柄锯掉一段。

连接完毕后，我就开始迫不及待地试听了。音箱是一对160W的松下三分频箱，如图11所示。接通电源后，扬声器里有明显的底噪。我没有感到意外，将电源地与机壳以及变压器的屏蔽绕组接到一起后（见图12），底噪完全消失，即使耳朵贴近扬声器也丝毫感觉不到噪声的存在。

输入音乐信号，小音量时就能感觉到很有力的低音，并且很干净，逐渐调大音量，明显感觉到扬声器摆放太近，声音没有了立体感。长时间使用，散热器和芯片都只是温暖的感觉（室温20℃左右），散热效果还是很不错的。

测试

对于欣赏音乐，我一向没什么天赋，对高、中、低音也没那

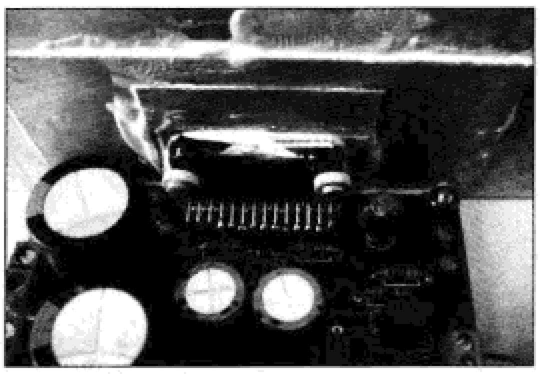


图10 散热器装配图

图11 试听实拍

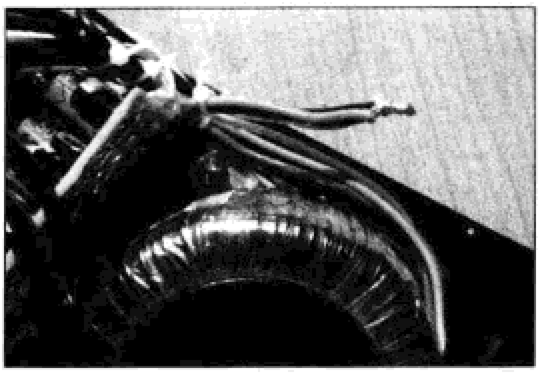


图12 将电源地、变压器屏蔽绕组、机壳以及安全地接到一起

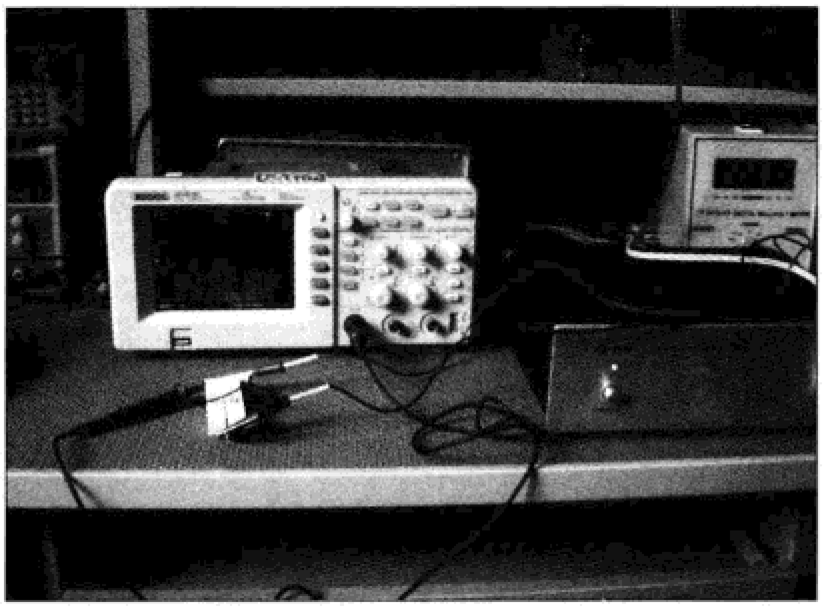


图13 测试实拍

么多感受，只是乐于享受这个制作的过程和成功的喜悦。要了解制作性能，还是进一回实验室比较好。测试这个制作，我使用了两个15Ω/20W并联的水泥电阻作负载，图13为测试实拍。

图14给出了100Hz、1kHz和10kHz的方波响应图，图15给出了20Hz、1kHz和10kHz的正弦波响应图。数字存储示波器不如模拟示波器的波形光滑，但从中可以看出这款功放的高、低频性能都还不错。继续测量得到了功放的下限截止频率为10Hz，上限截止频率为180kHz，图16给出的是实测波形图（同等幅度的输入信号下，1kHz时的输出电压峰峰值为30Vpp）。

结束语

这次的制作经历了整整两个月的时间，也足足花费了我一个月的生活费，但个人认为是值得的，因为从中学到的不仅仅是设计或者焊接一块电路板，而是完成一项完整的作品所要经历的全部流程。这么大的功放大概是不适合在学校宿舍里使用了，准备寒假带回家，把家里那个组合音响的功放给换了。

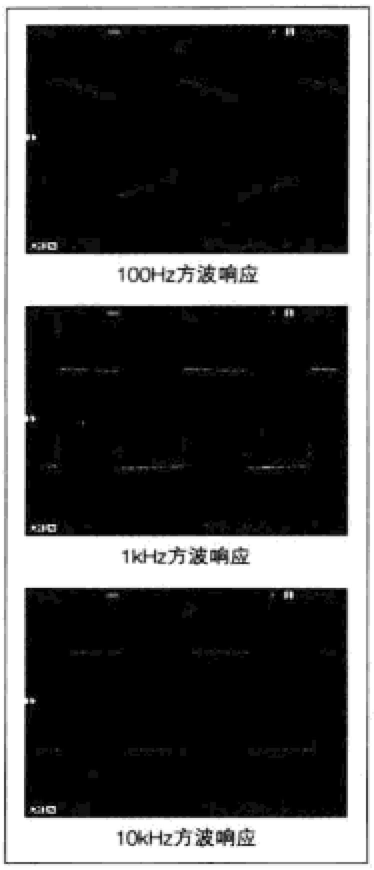


图14 方波响应

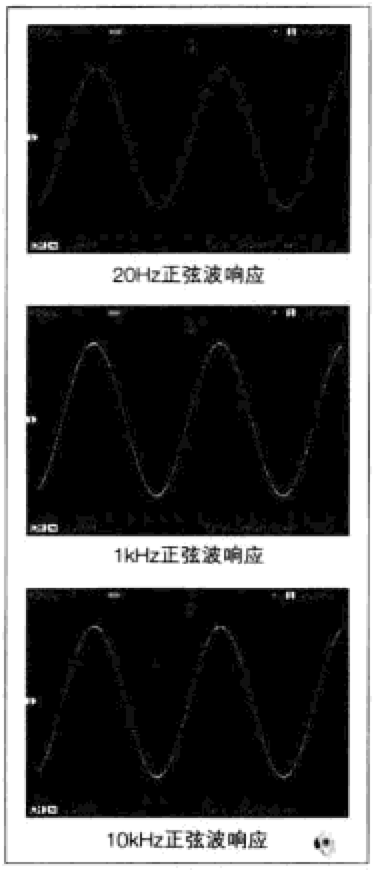


图15 正弦波响应

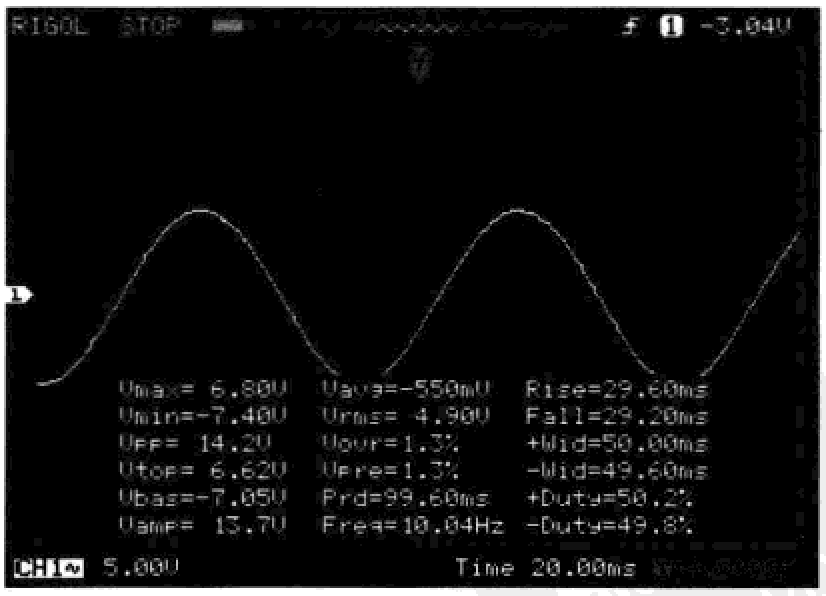


图16 实测波形

◎韩镄

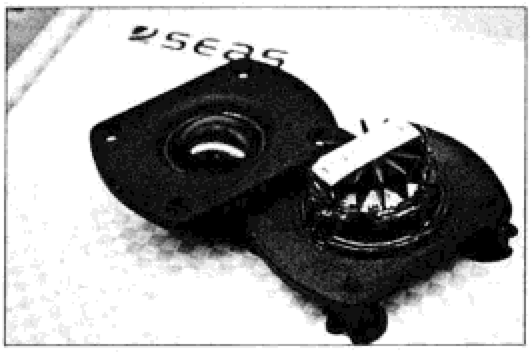
灵活优雅的迷你精灵
——E5多媒体音箱（套件）

ELFE E5是专为小型居室和桌面音响设计的多媒体音箱（套件），箱体尺寸为17（宽）cm×29（高）cm×24（深）cm，其频率响应为60~30000Hz ±3dB，灵敏度为86dB/W/m，阻抗为4Ω，建议功率：10~50W。高音采用1英寸钕磁球顶高音单元，低音采用5英寸Nomex磁屏蔽低音单元。此音箱的最大特点是，即使置于狭小空间也丝毫不会影响动态和音场再生。

套件清单

一对E5空箱体（含防尘罩），一对定制高、低音单元，2片分频器PCB，2对接线柱，2张吸音棉，一个元件包。**特别提醒**：目视体积小的电感是1.400mH，空芯的电感是0.250mH，在安装时要注意核对，别安错了。

套件全家福



高音单元

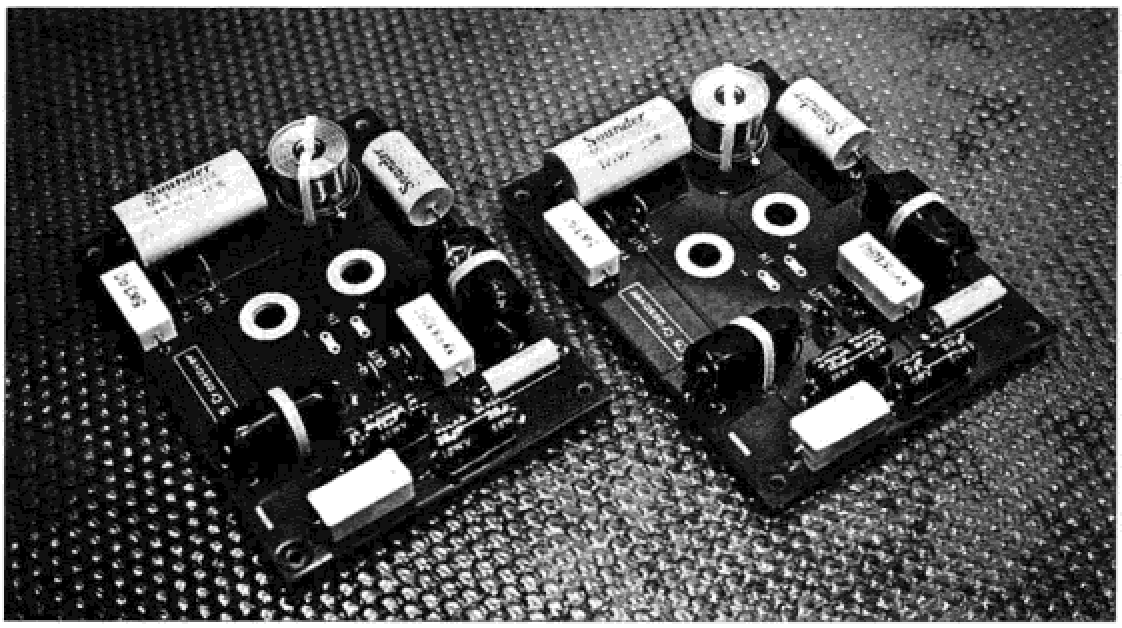
低音单元

在本次套件的定制中，我们让厂家在单元背面附贴了密封材料，为大家DIY提供了方便。

低音单元的背面已经贴上密封条了

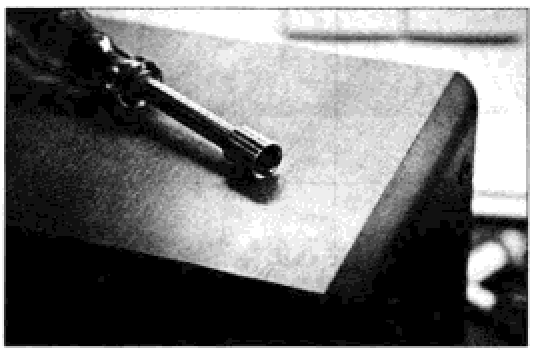
分频器的安装

此音箱的分频器安装比较简单，只要按PCB上标注的阻容元件来焊接即可，体积大的元件要用随带的扎带固定于PCB上，装好的分频器电路板如右图所示。

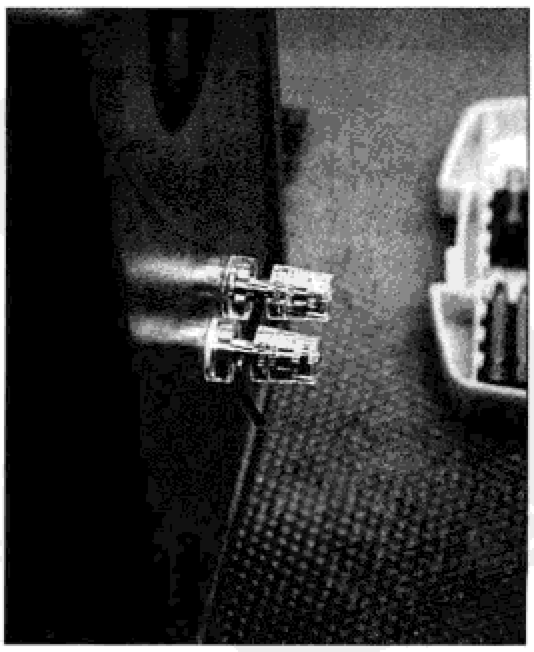


音箱的总装

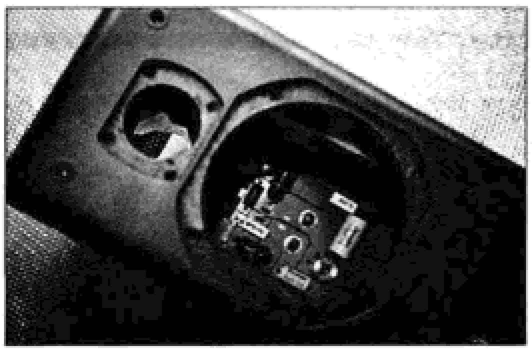
接线柱与分频器PCB紧固的螺母需要用外六角螺丝批。



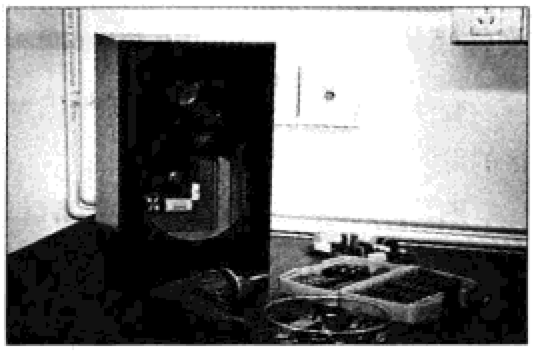
拧的时候背面需要固定一下。



分频器与接线柱用螺丝紧固的压接方式进行连接，用4枚自攻螺丝固定于箱体后板上。

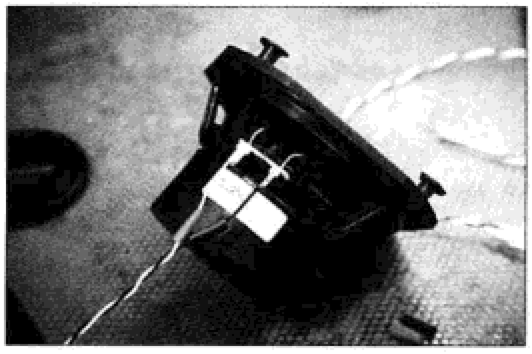


4枚自攻螺钉建议用电动螺丝批来固定，这样不容易拧花螺丝，只需给一个顶力便可。

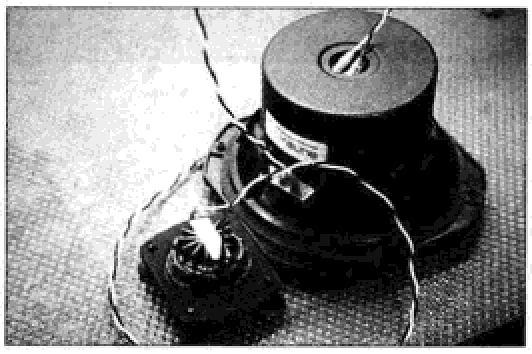


单元与分频器的连接线需要自己做，用插片方式连接于分频器，焊接于单元上。

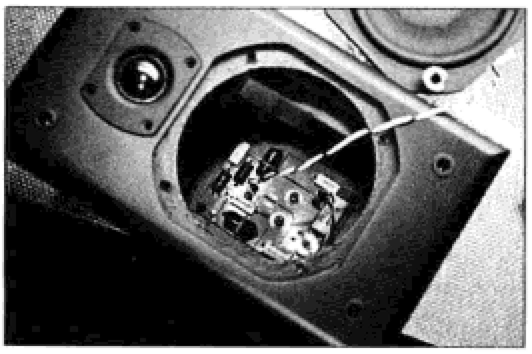
单元焊接时候注意分清正、负极，最后用热缩套管包覆。



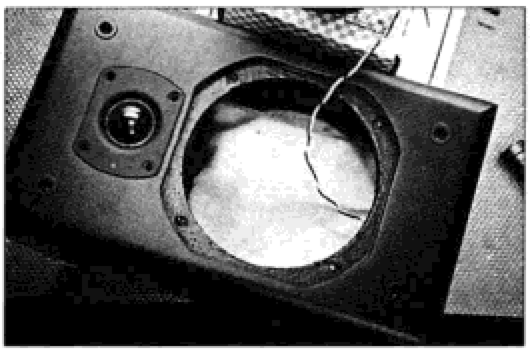
高、低音单元全部焊接完便可装箱。



先将高音单元装入箱体，再将高、低音的音箱线插于分频器上。然后装入低音单元。



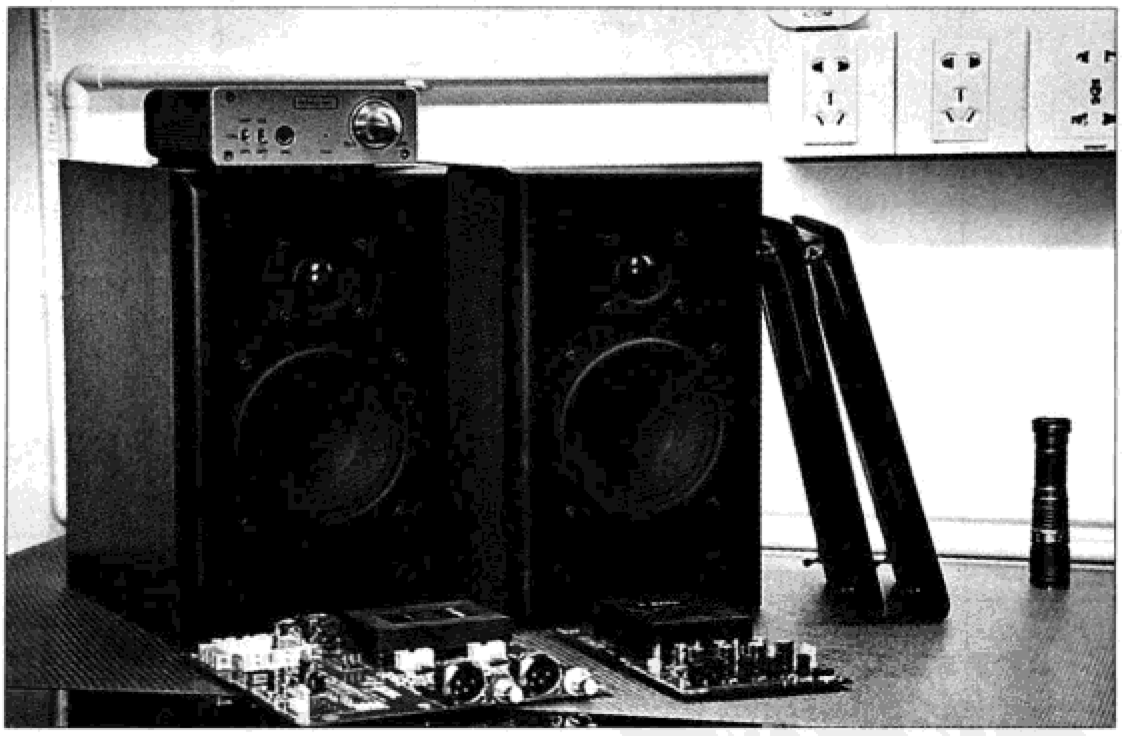
然后放入吸音棉。



最后放入低音单元。

这里需要注意的是，单元的螺丝要以对角线的方式去拧，不要把一颗螺丝一下子就拧到底，尽量慢慢地使4枚螺丝同步下降，直到单元上的盆架面与箱体面板持平便可。

一款高性能的多媒体音箱便完成啦！



套件销售

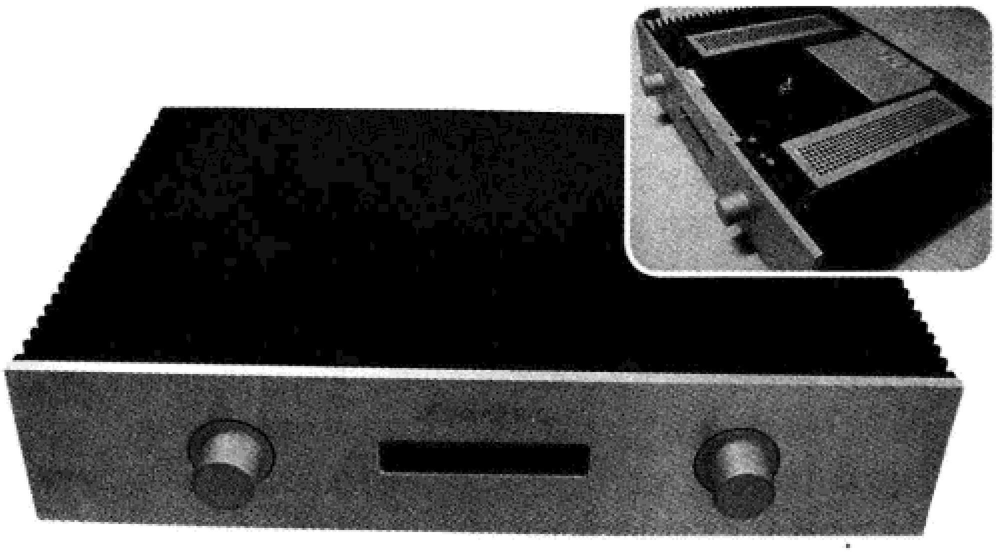
套件价格：套件价格为680元（因为套件怕摔怕碰，所以运输费用为50元，偏远地区的用户必须到就近大城市自提）。

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明E5音箱套件和汇款人电话。

2. 淘宝店购买：http://shop59935144.taobao.com/

◎平常

打造精品Audio功放



功放是音箱电声转换前的最后一环，肩负着承上启下的角色。由于音箱存在阻抗、容抗、感抗等复杂负载，所以要制作出一台好功放，并不是一件容易做到的事情，制作一台精品功放成为了我一直追求的目标和动力。在机缘巧合下，经过自己半年多的努力，终于如愿的设计制作出这台合并功放，取名为“Audio”。

设计思路

在动手之前，先列出在整体设计上需要注意的问题。一是功放的安全保护问题。此台功放采用了软启动开机、电源过流保护、电路过流保护、直流电压保护等。二是功放的使用场合。这台功放以配书架音箱为主，音箱灵敏度为83~90dB，环境为25m²以下，所以在8Ω音箱负载时，要求输出功率有20~50W即可。三是功放的带载驱动能力。带载驱动能力强的功放，能较好弥补负载音箱的不足，这也是先天不足后天来补救的一种办法。所以我希望这台功放能够驱动低至3Ω的负载而不出现较明显的失真，并且功放的阻尼系数和转换速率不能太低。四是功放功能需求。我想功放能够通过开关来选择实现甲、乙类放大电路的模式转换，方便对比音质和按需求使用。功放还要具有遥控开关机功能、遥控音量功能和多路输入选择功能，且所有功能既可以通过遥控控制，也可以通过机箱面板控制。

1. 电路特点

由于甲类功放天生具有较好的线性

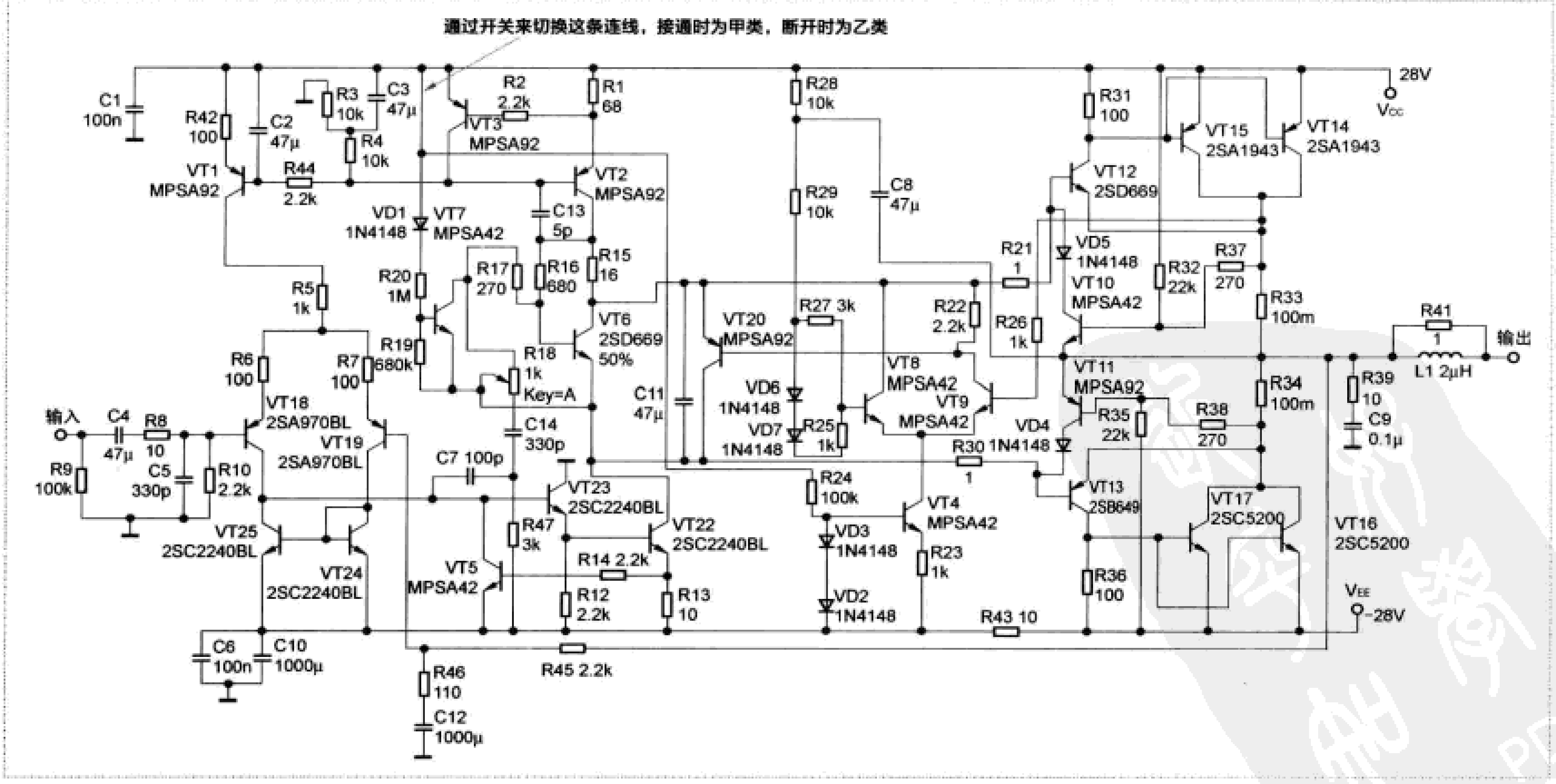


图1 功放电路图

又不存在交越失真和开关失真，我一直对它有一种难以割舍的钟爱，但有时又觉得太浪费（时下提倡低碳生活），因此决定采用了甲、乙类可自由切换的设计。要求这台功放能够驳接低阻抗并具有足够的阻尼系数，输出末级要尽可能降低影响听感的交越失真和开关失真，最终决定选用结构简单成熟，性能稳定的经典三重结构LIN电路，采用两对功率输出管并联接成倒置达林顿结构输出形式（图1）。

此电路发表于《音频功率放大器设计手册》，由英国Douglas Self 设计师做了改进和提升。这款电路非常具有魅力，不但电路结构简单，带负载能力强，而且在稳定性方面也非常出色，电路的设计思路是在保证每一级最优线性的前提下，尽可能利用大环路负反馈电路进行整体优化，最终得到非常令人骄傲的性能，本人也利用学到的一些小技巧，再对此电路加以小量修改优化（图1所示的是最终修改的定型电路）。

输入级：由于前级是带有缓冲输出的，所以后级选用2.2kΩ低阻输入方式（无缓冲输出常规为10 kΩ以上），尽可能降低电阻热噪声和晶体管噪声。差分对管VT18、VT19及镜像恒流源负载VT24、VT25构成跨导放大输入级，这种结构对称性高，能有效防止二次谐波产生，镜像恒流源负载的好处是，转换速率比电阻负载提升1倍，开环增益也比电阻负载提升6~15dB；电路再增加差分射极电阻来产生本级负反馈，就可以加大输入级的恒流源电流，这种方法能使输入级跨导进一步增大，改善输入级的线性，提升整个电路转换速率。当然也不能无限制地使用这种手段增大跨导，还要考虑整个电路的稳定性。镜像恒流负载VT24、VT25不设射极电阻，通过精确配对管子来达到想要的效果，因为我有这个条件和时间。输入级恒流源设为6mA。

电压放大级：使用VT22、VT23组成射极跟随器，进一步提升β值，以增强本级补偿电容的负反馈效果，这种方法还能消除驱动级输入阻抗变动引起的失真，可谓一举两得。尽可能减小每一级的失真是

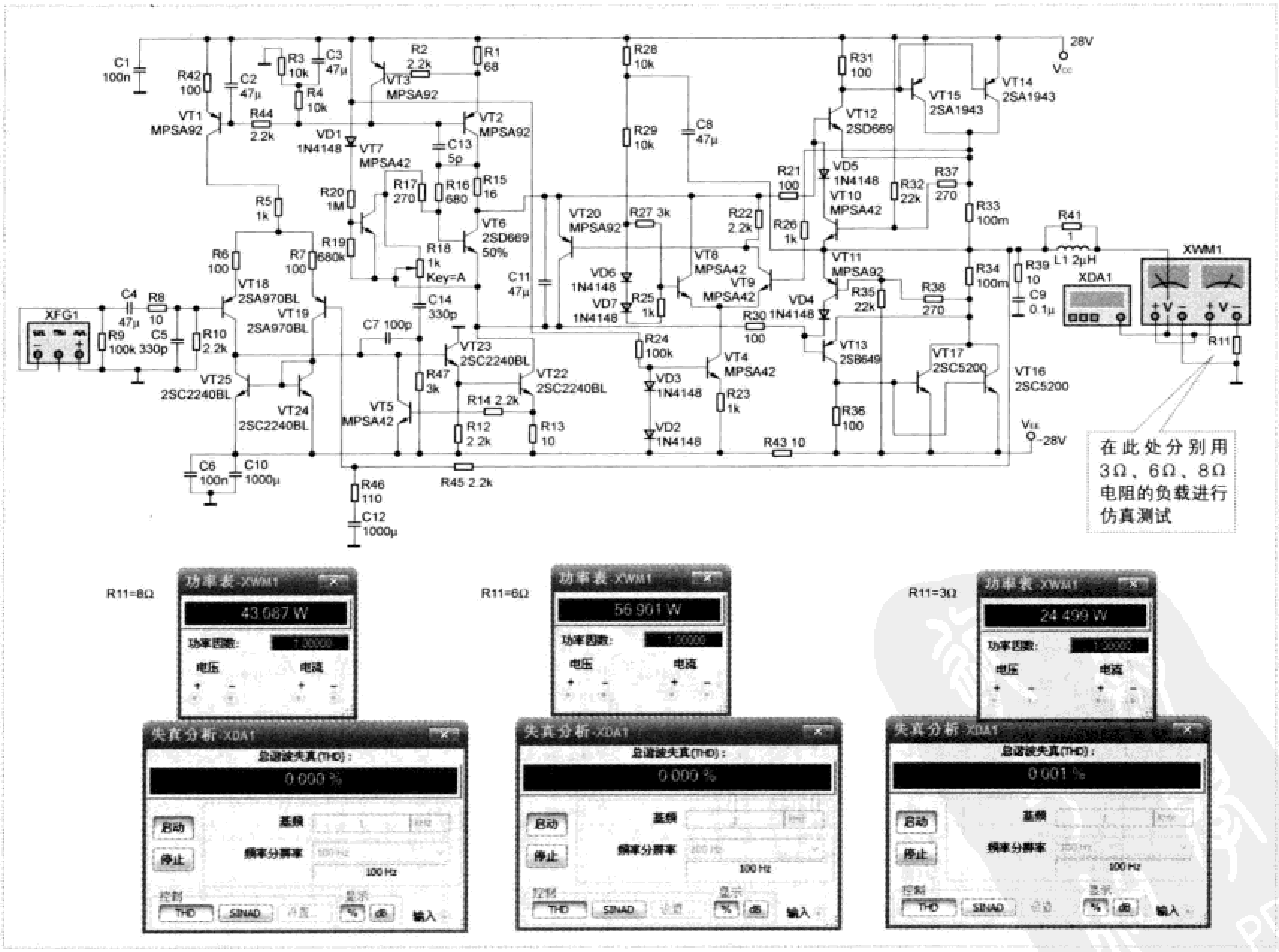


图2 功放仿真测试

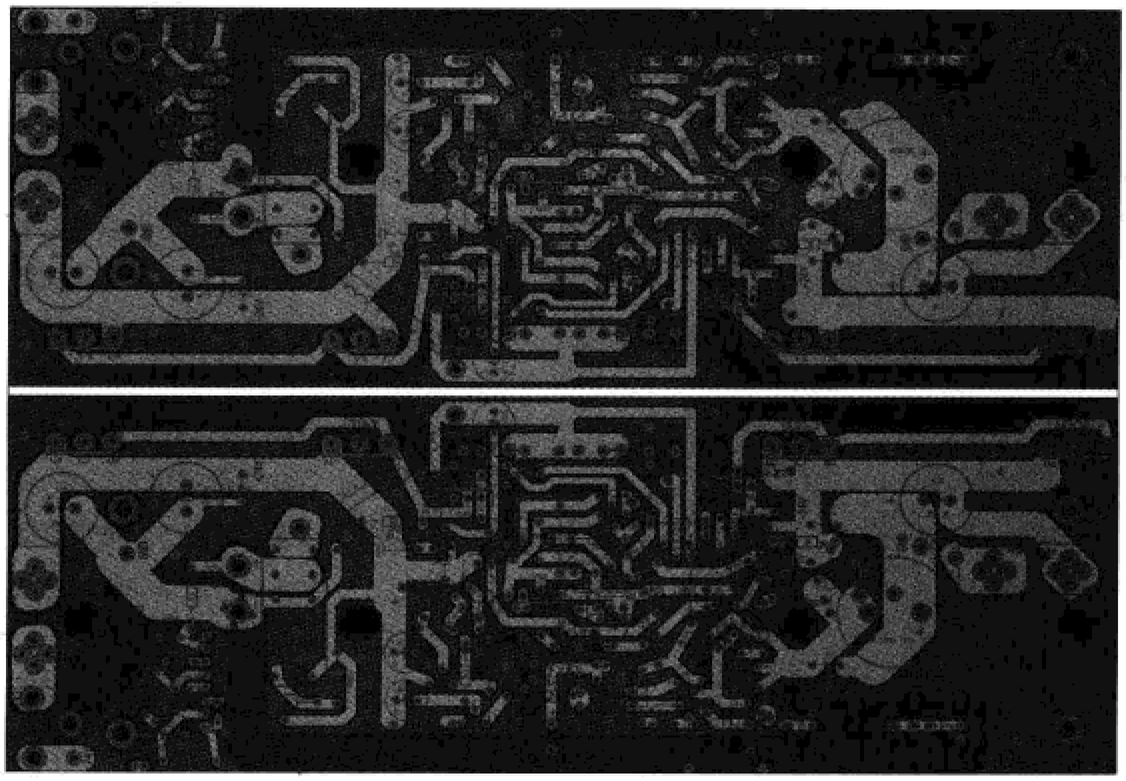


图3 功放的PCB设计好的效果图

这台功放的定位。电压放大级恒流源设为10mA。在这级电路中我还加入了双极点电容补偿C7、C14、R47，进一步提升音频范围内的高频负反馈量，这样非常有利于在乙类工作时有效减小高次谐波失真，杜绝出现“晶体管声”。在超高频部分则回到原有的每倍频-6dB的衰减量，使电路稳定工作。当然在加入后还得细心地调校。由于电压级恒流晶体管VT2结电容形成穿透效应，影响到了放大器正半周转换速率，原电路在设计师Douglas Self改为主动式恒流源的基础上，我又在恒流管上增加一个5pF小电容C13，与主动式恒流源检测点相连，使电压急剧变动时，恒流源电流也随着增大，有效提升正半周转换速率。

输出级：采用倒达林顿输出结构，由驱动级VT12、VT13与输出级VT14、VT15、VT16、VT17组成，由于这种结构形成了本级负反馈，所以能有效提升线性，减小输出级失真。同时尽可能做好乙类时V_{be}倍增器跟踪驱动管的热速度，保证功放在乙类时始终处于最优化偏置内。

偏置电路：采用甲类和乙类分开控制，甲类时采用差分对管检测射极电阻两端电压，另一边的1.2V基准（注：画电路时找不到这种IC，所以用双二极管代替）经电阻分压成300mV基准源与射极电阻两端电压进行比较，静态电流能在1秒钟内就精确控制在1.5A，温度升高时静态电流变化能在1mA内，不存在热机问题。乙类控制则采用传统V_{be}倍增器形式，通过微调电阻来设置乙类最优偏置，令交越失真最小化。两个功能的相互切换开关安装在机后板，方便自由切换甲、乙类方式，这样试音就变得容易了。

保护电路：过流保护是检测功率管射极电阻R33、R34压降，通过VT10、VT11来产生保护。直流保护采用的是μPC1237集成电路，通过输出继电器进行保护动作。在选取保护电路RC滤波器时间常数时，采用常用47kΩ+47μF的一阶滤波组合，信号触发频率为2Hz以下，保护动作时间为78ms左右，这个时间常数能够很好地保护扬声器，又不会在放音乐时出现误动作。

2. 关于功放输出阻抗

由于使用大环路负反馈方式，又使用两对功率管并联输出，这样输出内阻可以控制在0.03Ω以下，我的音箱线的内阻1kHz时实测是0.02Ω以下，PCB引线、保护继电器及补偿网络输出电感L1的内阻共约为0.01Ω，8Ω音箱以7Ω来计算，这台功放的阻尼系数能达到175左右，加上音箱线后，也能达到116以上，我想这样的设计应该能足够吸收反电动势了。电路最终决定采用双28V直流供电设计，甲类每声道电流取1.5A。

先用计算机来仿真此电路的性能（图2），频率选为1kHz，接8Ω和6Ω负载时，失真在0.001%以下，接3Ω负载时，失真为0.001%。通过这个仿真，说明电路原理设计合理，可以进行制作了。

制作过程

1. 功放PCB的制作

PCB 设计是非常讲究的，设计得不好会影响到整台功放的性能。首先是不能形成地环路干扰（这也是显示实力的地方），还要注意大信号和小信号、电源和信号在兼顾元件尺寸和安装布局的情况下要分开布线，最后采用大面积铺铜屏蔽。铺铜屏蔽也考验布线员的经验，做得好能提升屏蔽效果，不好反而会形成干扰源。在 PCB 信号输入周围的敏感地区，要尽可能缩小走线长度和面积，同时上面加以大面积铺铜屏蔽。负反馈回路周围也要尽可能地用大面积铺铜屏蔽，并且不能与整个 PCB 的大面积铺地相连，要单独返回星形接地的中点，这样才能最大限度地减小干扰。最终采用的是双面板，左、右声道独立对称设计（图 3），找专业线路板厂开板，基板采用 2mm 厚 75μm 的铜箔(图 4)制作。

2. 元器件的选择

晶体管的选择：输入级、电压级选

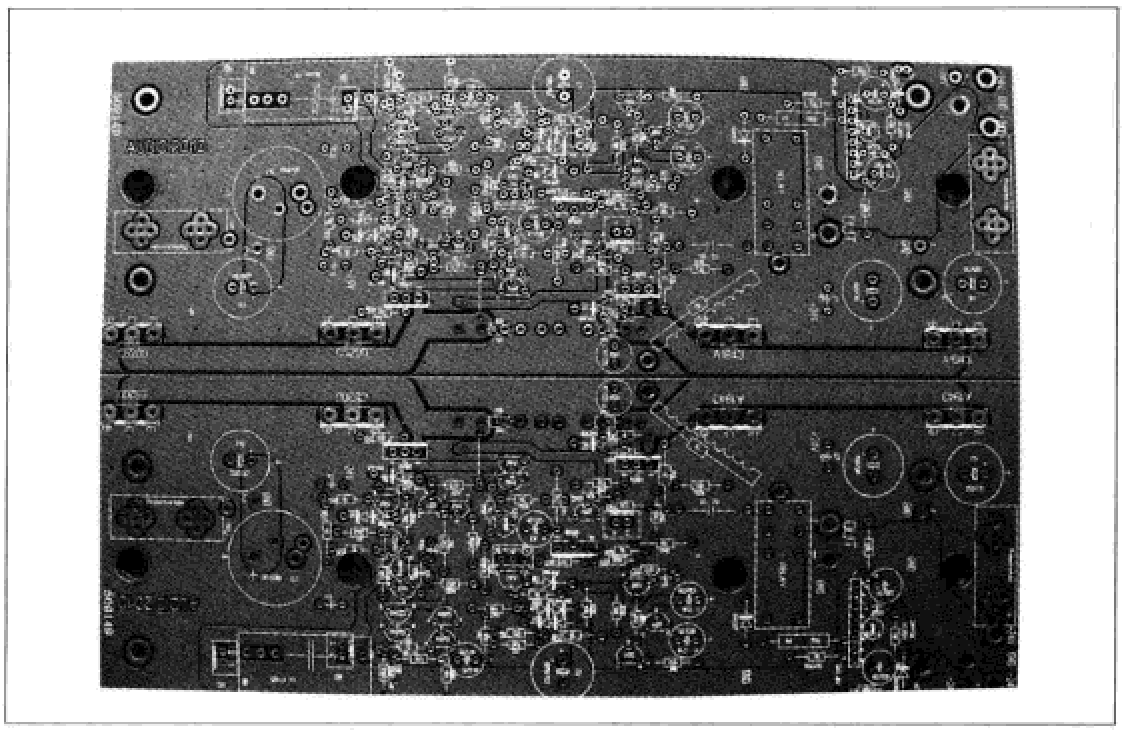


图4 功放的PCB实物

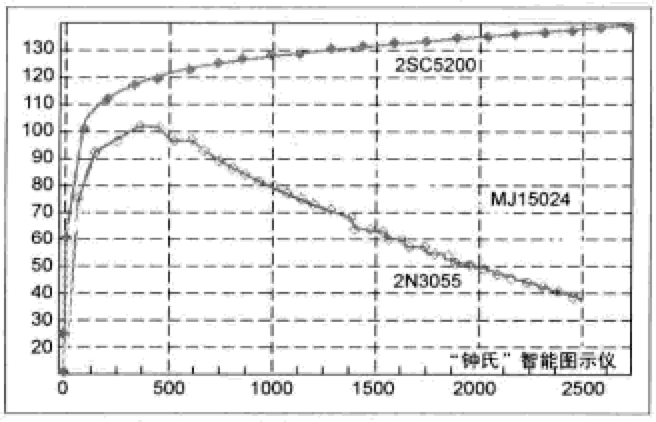


图5 三种晶体管的放大倍数比较

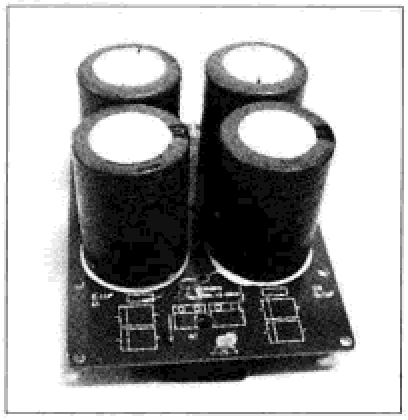


图6 电源板的电解电容

用2SA970BL、2SC2240BL管，这种管噪声低、β值高，我手上的BL后缀管的β值都在300以上，Cob电容只有3pF左右，f_T值也达到100MHz，这是非常有名气的音响专用管。恒流及保护管选用较便宜的MPSA42、MPSA92，性能也不错，就是β值低了些，不过用在此处并无大碍。驱动管选用2SB649、2SD669，f_T值达到140MHz，Cob电容为27pF左右，我手上的二手拆机管β值能达到100~200，而且非常容易配对。在这里要说明的是，差分输入管配对越对称越好，不但要V_{be}-I_C配对，β值也要配对。恒流负载管主要是V_{be}-I_C配对，不然输出中点电压也会变高。这些都将影响到每一级的线性失真问题，作为精品功放，更是要精益求精，这是厂机所无法做到的。在选用输出功率管上我还有自己一套更高的要求，除了要求管子f_T值要高一些以外，还要求管子在大电流下β值下降坡度要低，这样才能在大电流输出时有更好的线性。因此选用了我一直很喜欢的2SC5200、2SA1943，这种管在大电流下β值依然能保持很小的变动，价格也很实惠。为此我特意测试了三种功率管（图5）。

从图5很明显就可以看出，2N3055在500mA后β值就开始下降，MJ15024比较好一点，在1A电流后才开始下降，而2SC5200在2.5A以后还没有降低的迹象。因此使用这种功率管能保证有更好的电流传输特性，并能够有效地降低输出级的失真，特别是在低负载阻抗情况下。有些朋友可能会问，为什么要考虑这样低的阻抗？其实这是考虑到在某些情况下，流过音箱的瞬时峰值电流往往几倍于参考电阻电流，这在多分频音箱上更严重，其主要原因是储能元件（电容、电感）惹的祸。在Otala和huttunen写的文章里曾经用试验揭示，一台放大器向8Ω负载输出50W功率，某些时候必须向负载提供3.53A的峰值电流。所以在功放设计时必须考虑更低的负载阻抗，才能使放大器驱动能力得到保障，这也是我设计时考虑的重点之一。可能有些朋友又会问，既然要好的驱动能力，那么为什么不多并几对管呢？其实这是考虑到了实用性和配对性的问题，多管并联虽然在大电流下有它的优势，但并不是并联越多就越好，增多的输出管同时还需要强化电源供给能力、散热能力、驱动级驱动能力及连接线通过大电流的能力，如此才能起到作用，在没有相应提高整体能力的时候，往往会适得其反，带来更多的负面影响，其中包括配对难度问题和制作成本问题。所以，制作功放需要考虑短板效应。我的目标是能够驱动低至3Ω的负载而不会出现明显的失真变化，选择两对管并联能满足我的设计要求。

电阻的选择：主要电阻选用国产718厂低温漂电阻，这种电阻在出厂时进行过3次以上老化，能很好保证功放电路工作点的稳定性。次要电阻选用普通金属膜电阻。功率管的射极电阻选用超低温漂0.1Ω的AE电阻，其目的是要尽可能防止电阻升温后出现阻值变化，导致上、下管电流不一致而影响管子的配对精度。

电容的选择：电压级负反馈电容选用进口银云母电容，这种电容容量稳定性好，高频特性也好。大环路负反馈隔直电容用的是三洋固体电容，有些人说这个电容比较影响音色，我只要求这个电容容量要大些，电容的ESR指标在音频段要小就够了。这个电容影响的主要是低频部分。

这个电容我用到了1000μF，并与4个二极管背靠背安装在一起以降低电容耐压要求，即电容有3V以上耐压就足够。耦合用的薄膜电容主要是手头有存货，同时也考虑到它的高频损耗和ESR小，有利于音频信号传输。在此处我的经验表明，用优质电解电容也很不错，除了便宜外，另一个好处是体积小，受干扰小。由于输入阻抗低，这个输入电容要求容量较大，我选用22μF薄膜电容。滤波电容选用二手思碧40V/14000μF电容，实测耐压80V无明显增大漏电流（后期日本化工差一些，70V都不到），这种电容耐浪涌电流，而体积又不太大，在大电流下比普通日产电解纹波小，非常好用。

变压器的选择：变压器选用二手太阳花，这种变压器本身都带有屏蔽环，采用大电流、低内阻设计，功率估计在500W左右，双22V大电流，双9V小电流，非常合我的心意。在甲类使用时变压器几乎不发热，只有微升温。

电感的选择：由于要考虑功放在电容负载时的稳定性，所以必须加上一个小电感再串一个10Ω电阻组成补偿网络，防止功放在出现电容性负载时出现自激。但往往见到很多功放电感用细铜线绕制，造成功放输出内阻的瓶颈。这里我选用直径2.5mm铜线绕10圈（2mm也行），电感直径是21mm左右，电感量在1.2μH左右，再并一个1Ω电阻（并10Ω接小电容作负载时高频方波振铃大，虽然不会引起自激，但看着不舒服，所以最后决定并1Ω，这时完全看不出有振铃产生），实际使用中也未见不稳定现象。

配对：负反馈等重要电阻都经过高位表选配，精度达到万分之一。同极性差分输入晶体管及恒流负载管5mA配对，V_{be}-I_C误差在万分之二左右。I_C-h_{FE}误差在千分之一左右。驱动管10mA配对，异极性误差V_{be}-I_C在万分之三。输出功率管2A电流配对，同极性误差V_{be}-I_C在万分之三左右，异极性配对V_{be}-I_C在百分之一左右。

PCB设计成功、元器件选择合适，功放板的制作就比较容易了。

3. 电源板制作

电源线路板主要是铜箔要厚，保证过流量，引线从一边走到另一边，要防止引出线与充电脉冲电流交连，否则功放会引入电源工频干扰。电容打上硅胶固定防震（图6）。

4. 遥控前级制作

选用套件，根据此机的特点，并对原PCB地线走线不合理进行调整，在PCB上把PGA2311的10脚和15脚相连接的线断开，使10脚和15脚互不相通，然后以这两个脚为左、右声道星形接地的中点来连接输入、输出的地线，打破了输入地环路，隔离了输出地环路，实际效果非常好。从中解决了直接连接产生的串扰大和噪声大的问题，实测前级1kHz失真+噪声均达到0.001%以下水平。从这里也可以看出，设计是一个整体问题，如果单独考虑某一部分，而忽略整体设计，性能是不会理想的（图7）。

5. 机箱制作

机箱由自己设计、找朋友加工，采用左右对称及外散热形式，面板同样为全对称式设计，中规中矩。采用铝柱来加工成锥形铝脚（图8），在四平八稳的机箱下，勾勒出极美观的双峰流线型，非常有美感。采用较高的低盘设计，有利于空气对流散热。

后板设有三组信号输入（图9），通过遥控器或机面板进行切换。甲、乙类转换装在后板正中。

导热板是在报废德国柴油发电机配电箱上拆下来的，采用导热板是为了让功率管温度尽可能保持一致。

6. 机箱组装布局

PCB是设计成直接装在散热器上的

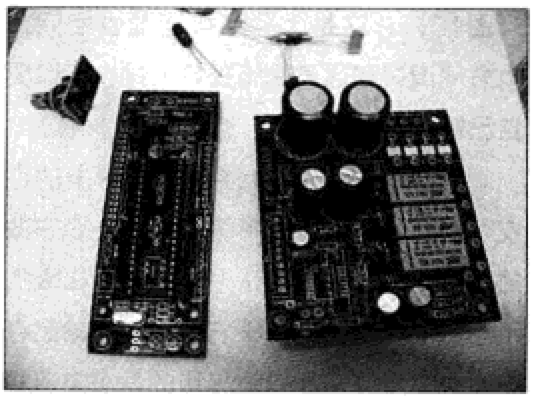


图7 遥控前级板的实物

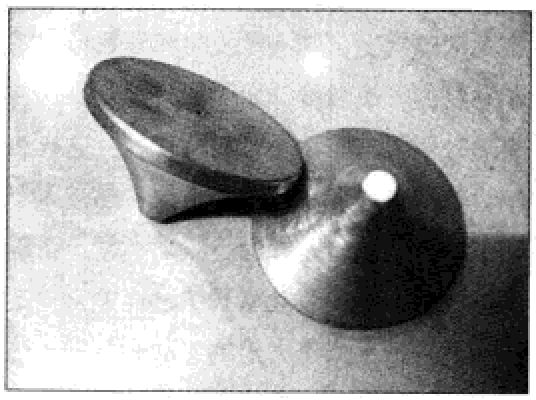


图8 做机脚的原材料——铝柱，用车床铣出来，就变成这个样子

图9 功放的后面板

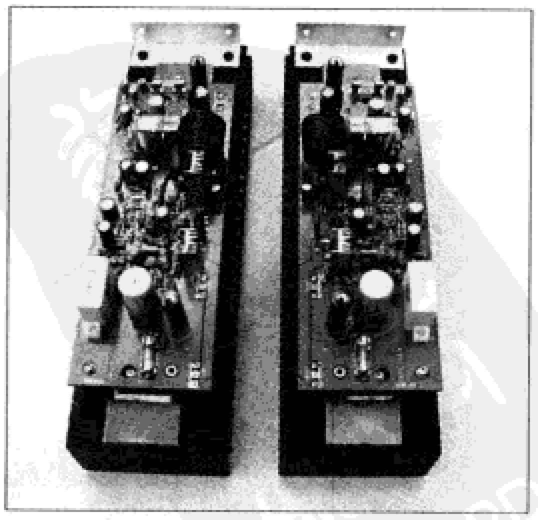


图10 功放的电路板直接安装在散热器上

（图10），这是为了尽可能节省空间，也方便调试和远离变压器等干扰，所以要自己制作屏蔽罩。

没有玩过倒置达林顿结构输出的朋友可能会问，为什么不把驱动管安装在散热器上？其实这种想法是对此类输出级的不了解而引起的，由于它的驱动与输出存在本级负反馈，所以输出级的静态电流稳定性完全由驱动管决定。这种结构的热补偿需要追踪驱动管的管温，如果驱动管装在大散热器上，则不能及时和有效地追踪驱动管的发热温度，所以要分开安装，并且热补偿要与驱动管背靠背安装，这样热耦合最快也最准。还有一个很容易被人忽略的地方，那就是如何上紧功率管，正确的方法是，在安装功率管的过程中，一定要用力矩扳手或带力矩的电动螺丝刀，这样上紧螺丝的力才会均匀，导热率才能保证基本一致。不然你的管子再怎么配对，一旦到了这里，就会差别很大了。正所谓细节决定成败，由此可见一斑。

我采取的是星形接地技术方式在机内布线（图11）。为的就是要以此A点作为零电位点，星形接地还能减小环路，避免产生地线交叉电流引起干扰。这里重点需要注意的是电源退耦地，这个电源退耦地绝对不可以与负反馈地或输入地混在一起。

接地技术没人敢称师傅，但我们要时刻记住，任何导线在常温下都不是超导体，所以有距离就必然会有内阻，有内阻就必然有压降，这就是引起地线干扰的罪魁祸首。我们必须尽可能不让它形成环路，例如采用一点接地技术，把各自回路的地线以此点作为参考点，就可以尽可能地减小干扰，降低噪声。我总结出的精华只有三个字“参考点”。

需要注意的是输入级要尽可能远离变压器，所以输入级要放在机箱后面板上，中前端靠近面板装变压器，同时调整变压器的角度，尽可能减小电磁干扰。变压器安装在机箱中前端还有一个好处，就是搬动中不易滑手。整流、滤波放在机箱正中靠后，并加以屏蔽外壳，同时在整流器上并联小电容以减小射频辐射。

7. 制作过程中的小诀窍

在设计PCB时候预留好方便拆卸的安装孔（图12），各功能块的PCB均用插件或螺丝固定，所以机器非常容易分开调试和测试。电阻在安装时要有意离开PCB一段距离，以利于散热。直流电源从电源板引出接到功放模块时，加入小磁环滤除一部分射频干扰（图13）。

差分对管用热缩管包裹，以利于进行热耦合（图14）。偏置电路的热补偿管与驱动管背靠背安装，这样热耦合速度快，跟踪过程更准确。

调试过程

古人云：“工欲善其事，必先利其器。”检测工具就是电子设计师的眼睛。为此我收集了一些二手仪器，它们在我的业余制作中发挥着余热（图 15）。

开机测试中点，一个声道为-1.9mV上下，另一声道为-2.4mV上下，还算不错。出现小幅偏移是热耦合误差及镜像恒流管VT24、VT25基极电流误差，我们看到的是一边倒的负电压，并不是管子不配对引起的。

经过优化走线和减小地

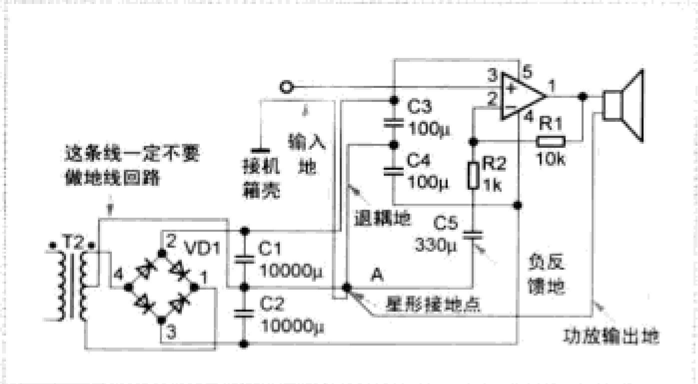


图11 机内布线示意图

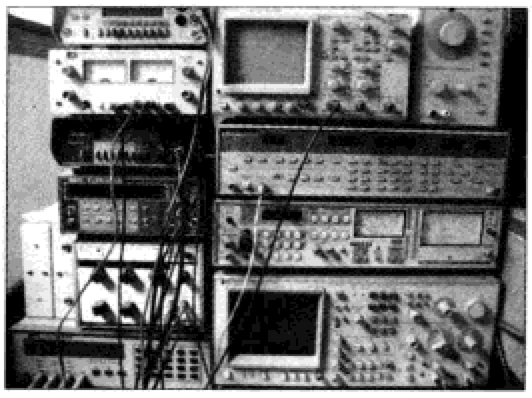


图15 晒晒我的测试仪器

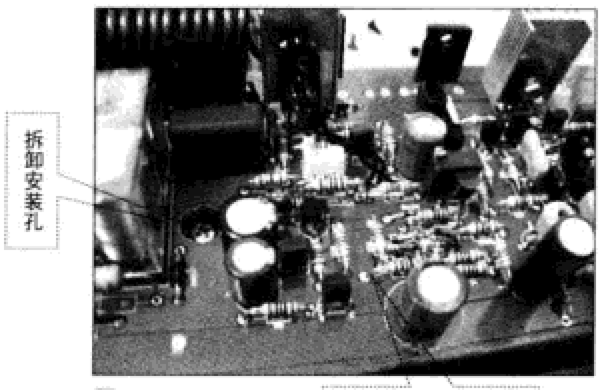


图12
电阻的躯体与PCB有一定间隙可利于散热

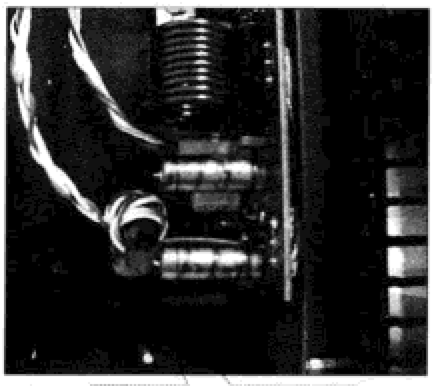


图13
直流电源输入加上小磁环能有效去除一些射频干扰

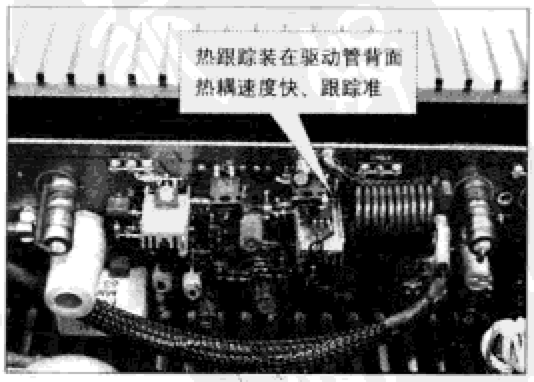


图14
差分管用热缩管包裹这样能获得较好的热耦

环路，最终在（20Hz~200kHz）甲类工作时左、右声道的底噪为0.058~0.068mV。乙类工作时控制在0.048~0.049mV。

再用频谱仪来分析这些噪声成分，见到的噪声多为电源工频及谐波串入到信号中（图16）。

其实这个噪声量是很小的，也只能通过频谱仪观察到，实际上把功放接灵敏度在100dB以上的全频音箱时，贴着扬声器都听不到任何噪声，包括高频的“嘶嘶”声。当然人的追求无止境，这也算是一种精神上的向往吧！

测甲类放大器工作时，功率管射极0.1Ω电阻压降为152mV，电流约为1.5A，符合设计要求。经过反复调整，乙类最佳静态工作电流为18mA。

性能报告

◆输出功率：

甲类工作时8Ω/34W，4Ω/17W

乙类工作时8Ω/45W，4Ω/85W

◆噪声：在20Hz~200kHz带宽内

乙类工作时，左声道0.049mV，右声道0.048mV

甲类工作时，左声道0.068mV,右声道0.058mV

◆失真：20Hz~20kHz频率下THD+N（使用80kHz低通滤波器）15W输出8Ω负载

甲类小于0.0073%

乙类小于0.01%

◆互调失真：20Hz~20kHz小于-90dBv

◆阻尼系数：175

测试失真（10V正弦波输出，在接8Ω真实音箱负载时测得）

1kHz失真，甲类时为0.0022THD+N（使用40kHz低通滤波器）。乙类时为0.0033%（使用80kHz低通滤波器）。

在这里再跟大家细说一下，用频谱仪观察失真的话，其实二次谐波看不出来，说明电路对称性很好，这得益于管子的精确配对。图17所示的是乙类时功放接上音箱负载实测到的1kHz二次谐波情况，用陷波器过滤掉1kHz的输出频率（因为直接用频谱仪无法看到，老频谱仪性能要差一些），再用频谱仪观测二次谐波，我们可以看到2kHz这个频率并没有起头，有起头的都是些噪声，失真低于频谱仪及功放的底噪。

三次谐波能从低噪中看到，但再往上的高次谐波就没办法看到了（图 18)。这个数据还包括信号源的失真在内，这也说明这台功放的实际失真更低。

下面再测其他频段的失真。10kHz频率THD+N（使用80kHz低通滤波器），甲类时为0.0043%，乙类时为0.0049%。

20kHz频率THD+N（使用80kHz低通滤波器）甲类时为0.0073%，乙类时为0.01%。这里需要说明的是，这些失真和噪声都是在没有计算信号源失真和噪声水平下测得的。

互调失真测试：输入19kHz和20kHz叠加正弦波信号，输出端把这两个信号用滤波器滤除，得到频谱如下：经过功放生成了一个1kHz互调信号，同时生成一个18kHz和21kHz互调信号，幅度均低于-94dBV。图19右边的图是功放（0~25kHz）频响测试图。我们可以看到这个频带内很直。

方波测试：我做了10Hz、1kHz、10kHz、100kHz的方波测试（图20）。

说明：100kHz之所以会变圆，不是因为功放失真引起的，而是高频增益在这个频段之上会以每倍频6dB的斜率下降，所以打出来的方波就变成这样了。

功放声道分离度测试，测试频率为1kHz，一个声道有$20V_{p\text{-}p}$输出时，另一声道的串音只有$8mV_{p\text{-}p}$左右输出（图21）。

试听评价

由于试听难免带有个人的喜好，本文只是我与周围朋友之间达成的见解。

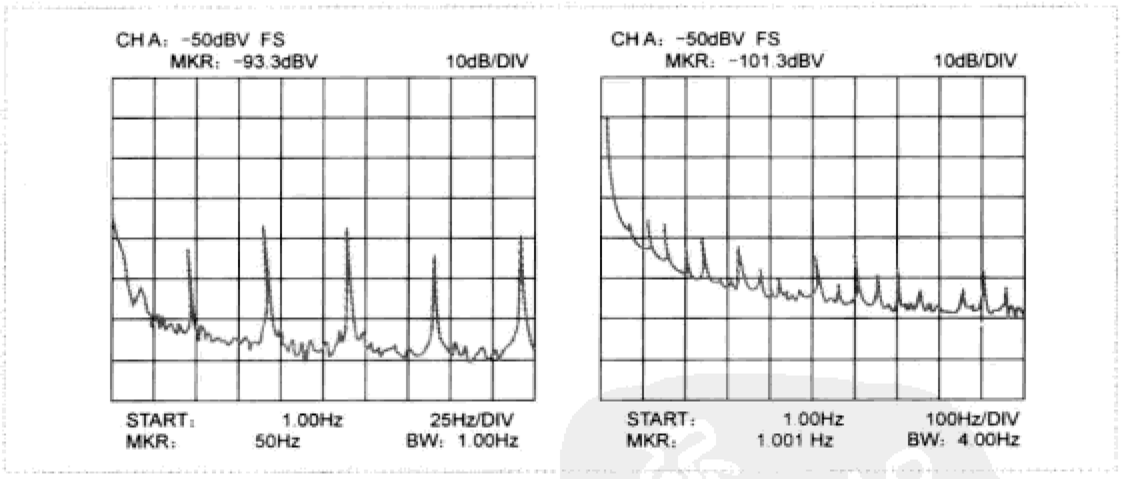


图16 用频谱仪来分析噪声成分

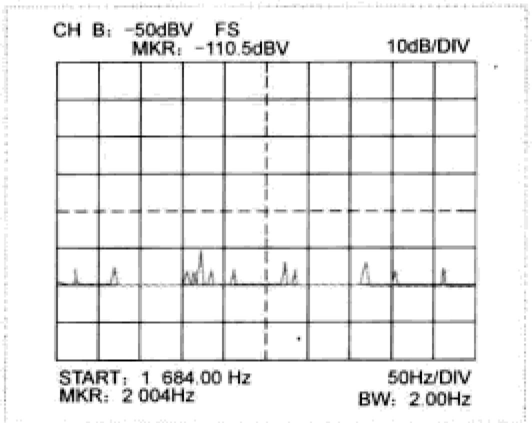


图17 在乙类功放状态实测1kHz的二次谐波

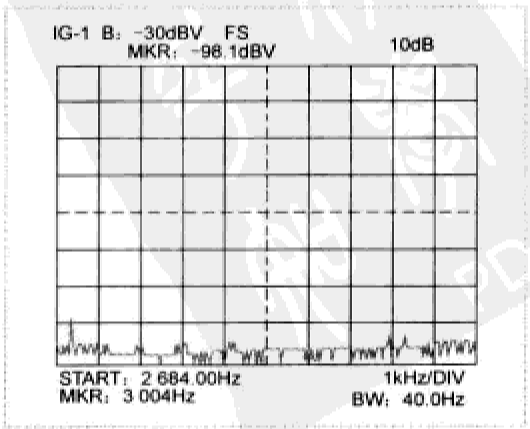


图18 3kHz谐波失真频谱

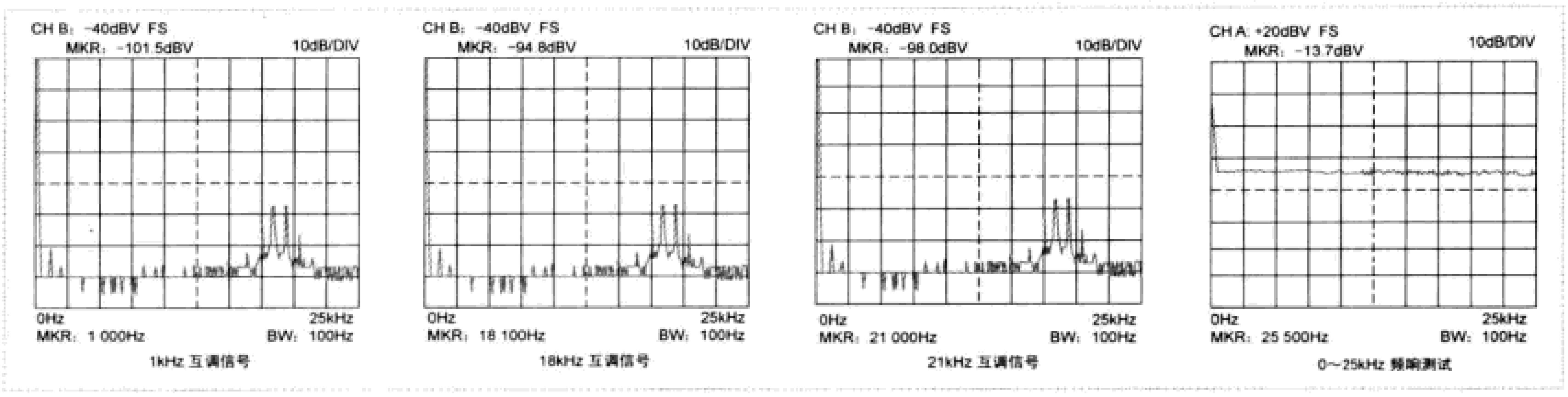


图19 互调失真的测试

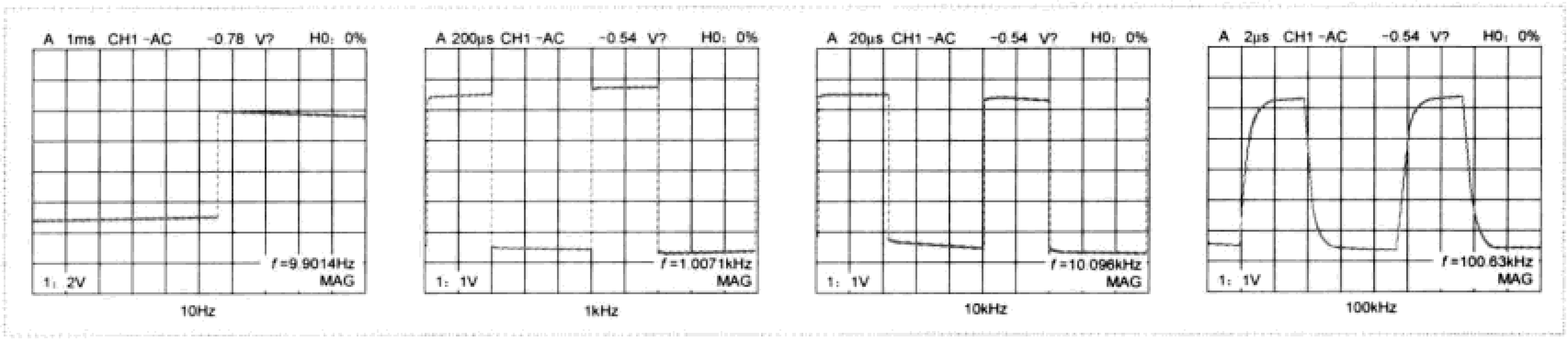


图20 方波的测试

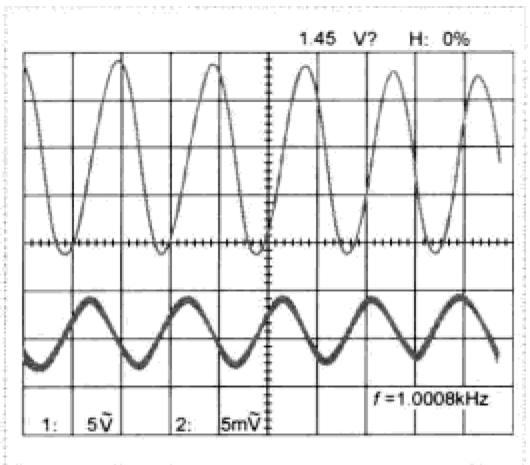


图21 功放分离度的测试

试听中分别把这台功放拿来配了几对常听音箱，一对是贵族1SC配马兰士72CD机，信号线和音箱线自制。一对是世霸Concerto配飞利浦951CD机，信号线为美国怪兽，音箱线自制。一对是乐爵士3/5配马兰士80CD机，信号线和音箱线自制。对比机有去年装的1969晶体管甲类、国产极典MP-211胆机、英国CR-300B胆机。唱片选用自己近期常听的音乐。

同时邀上几位经常听歌的朋友同好，经多次一起试听得出下面结论。用“Audio”功放配1SC音箱放柴亮《重逢有日》小提琴曲时，中高频晶莹通透，延伸及质感非常好，没有一点朦胧的感觉。“Audio”功放配Concerto音箱放打击乐《鼓动心弦》，动态非常凌厉，没有拖泥带水的感觉，空间定位分明。放《龙迹》交响乐时层次感分明，空间定位特强。比用1969功放播相同音乐时，层次感差别较大。在控制扬声器的能力方面“Audio”有非常过人之处。在配Concerto音箱时还有一个亮点，就是放杨曼莉《民歌红》时更好听，出来的人声更娇媚。在用“Audio”功放配3/5音箱时，听蔡琴的歌声没有1969厚实，也没有CR300B的圆韵，但比CR300B、MP211精致，不朦胧、通透性更好。最终自我定论：“Audio”功放高频不燥，中频无染，低频迅猛，确实是一台经过精心打造，“进得厨房出得厅堂”的精品功放。真正做到了表里如一。

最后计算一下成本（不计人工成本）。机箱费用500元，PCB打板用了460元，变压器是淘宝网淘来的，价格为310元，前级套件为138元，电容、电阻是以前买的，其中电容多为二手货，算100元差不多。铜条是朋友相送的，算是废物利用，买的话可能要100元，接线柱等配件算100元吧。变压器罩25元一个，二手铝屏蔽罩15元一个。机内连接线和接头等算100元好了（其实也没几个东西），算下来不包括晶体管，满打满算还不足2000元，晶体管配管中，大功率管我是买已经配好对的，然后再自己二次配对，算上浪费的在内花了1000元吧（其实这些管以后还用得上），总算下来也不过3000元。我认为这样的成本控制也还算不错吧！

结束语：以前，我们常把自己DIY出来的作品统称“土炮”，但现如今，随着社会进步，信息、技术、交流、资源、物流等都已经不可同日而语了。我们这群DIY者自然要与时俱进，我们相信，天下事，最怕认真二字，只要你用心认真去做了，还有什么能难倒我们呢？这也是我想通过自己精心打造的这台精品功放带给大家的信息。

2.1多媒体音响设计与制作

◎曾当兵

随着电脑的普及，多媒体音响进入了寻常百姓家。多媒体音响主要满足对听音要求不高的电脑玩家，一般声场不大，以卧室为主。目前市场上出售的多媒体音响逐渐向结构小型化方向发展。2.1多媒体音响在结构上主要由低音和高音部分组成：低音部分驱动低音扬声器，高音部分驱动高音立体声扬声器。

系统框图

常见2.1多媒体音响结构框图如图1所示，目前市面上售价在100~300元的多媒体音响大部分采用的芯片是TDA2030，本设计也不例外。本设计的难点主要在前置和低通滤波器部分。

电路设计

1. 电源电路

电源电路如图2所示，其工作原理是：12V交流电压经过桥式整流以后，$\pm V_{CC}$约为±15V，C1、C2、C3、C4为滤波电容，C1、C2去除电源纹波，使电压更平坦，要求该电容的容量要大，耐压要大于电源电压；C3、C4是滤除电源中的高频噪声，常用瓷片电容0.1μF（104）。R22、R23分别是指示灯VD1和VD2的限流电阻，将指示灯的电流限制在10~15mA。

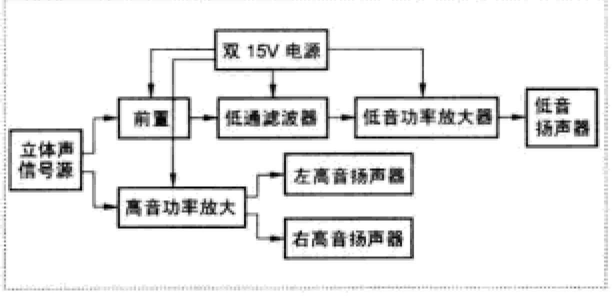


图1 系统结构框图

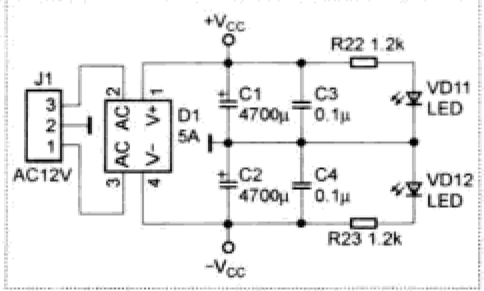


图2 双电源电路

2. 高音立体声电路

高音立体声电路如图3所示，J2是音源立体声信号输入接口，这部分信号主要来自电脑、CD机、MP3、MP4等音源设备；J3是高音立体声信号输出，连接高音扬声器。RP1是总音量控制，RP2是高音音量控制。声音信号经过左、右声道功率放大以后从J3口输出驱动扬声器。在高音部分我们提供5W/8Ω的扬声器，由于TDA2030属于甲乙类功放，那么输出功率是负载R_L上的电流I_O和电压U_O的乘积，即

$$P_O=I_OU_O=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\cdot\frac{U_m}{\sqrt{2}}=\frac{U_m^2}{2R_L} \quad (2\text{-}1)$$

U_m和I_m均是峰值电压，那么

$U_m^2=2R_LP_O=2\times8\Omega\times5W=80$

$U_m=8.9V$

即高音扬声器输出的峰峰值电压$U_{op\text{-}p}$为：$U_{op\text{-}p}=2\times8.9V=17.8V$

以正弦波信号作为输入测试信号，调节R1和R24，使得最后从双联电位器RP1可动端输出信号的峰峰值为700mV。由于常用的音源设备输出的最大信号幅度差别比较大，因此有必要在信号输入时进行幅度调整。左右通路的信号增益为：

$$A_u=\frac{17.8V}{700mV}\approx25$$

从图3可见，TDA2030的信号增益为A_u：

$$A_u=\frac{U_o}{U_i}=1+\frac{R_f}{R} \quad (2\text{-}2)$$

其中R_f为反馈电阻，R为偏置电阻，为了使放大器同相输入和反相输入满足直流平衡，R_f应取20kΩ，从（2-2）中可知，$R=\frac{R_f}{A_u-1}=\frac{20k}{25-1}\approx833\Omega$，在

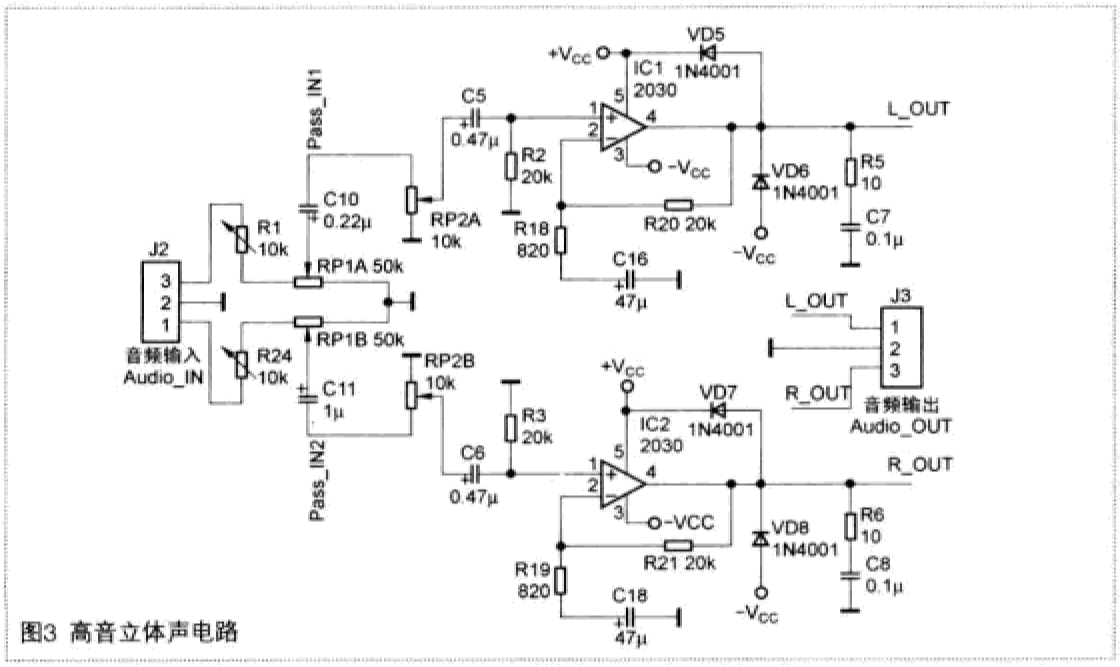


图3 高音立体声电路

附表 巴特沃斯多项式

n	多项式因子B(S)
1	$1+S$
2	$1+2S+S^2$
3	$1+2S+2S^2+S^3$
⋮	…

这里选择820Ω电阻，即R18、R19均为820Ω。VD5~VD8是外接保护电路，用来泄放扬声器的自感应电压，R5、C7和R6、C8分别组成高频校正网络，抑制高频自激振荡。

3. 低音电路部分

低音电路部分由如图4所示的前置电路和低通滤波器电路以及如图5所示的低音功放电路组成。

在扬声器的选择上，我采用15W/4Ω低音扬声器，高音部分为两个5W/8Ω扬声器。

整个低音通道的总增益为A_v=前置总增益A_u×低音功放增益A_p。

巴特沃斯低通滤波器由R10、R11、C14、C15和运算放大器NE5532，以及控制信号增益的R14、R15和抑制交流反馈的C17组成。当C14 = C15时，由二阶低通滤波器电路传递函数的典型表达式知：

$$A(s)=\frac{A_oW_n^2}{S^2+\frac{W_n}{Q}S+W_n^2} \qquad (3\text{-}1)$$

考虑到-3dB截止角频率$W_H=W_n$，则

$$A(s)=\frac{A_o}{\left(\frac{S}{W_H}\right)^2+\frac{1}{Q}\frac{S}{W_H}+1} \qquad (3\text{-}2)$$

令$S=\frac{S}{W_H}$，（3-2）可转化为

$$A(s)=\frac{A_o}{S^2+\frac{1}{Q}S+1} \qquad (3\text{-}3)$$

从附表的巴特沃斯多项式可知，当n=2时有 $B(s)=\frac{A_o}{1+\sqrt{2}S+S^2}$

对比式（3-3）和（3-4），当$A(s)=B(s)$时，$Q=\frac{1}{\sqrt{2}}$。

$$\because Q=\frac{1}{3-A_{VF}}$$

$$\therefore A_o=A_{VF}=1+\frac{R_{15}}{R_{14}}=3-\frac{1}{Q}=3-\sqrt{2}\approx 1.586 \qquad (3\text{-}4)$$

可得$R15=0.586R14$ (3-5)

（1）选择滤波器的截止频率为200Hz，由于电容的标称值较少，电阻阻值较广泛，所以以选定电容容量，再计算电阻值的方式。选定电容量为0.22μF（224），则

$$R=\frac{1}{wH\times C}=\frac{1}{0.22\times 10^{-6}F\times 2\pi\times 200Hz}$$

$$=\frac{1}{276.32\times 10^{-6}}\approx 3619\approx 3.6k\Omega$$

（2）考虑运放两个输入端的电阻必须满足平衡条件：

即$R10+R11=R15\,//\,R14$

$$3.6+3.6=\frac{R_{15}\times R_{14}}{R_{15}+R_{14}} \qquad (3\text{-}6)$$

式（3-5）和式（3-6）联立求解可得R14≈19.5kΩ，R15≈11.4kΩ。根据电阻的标称阻值序列可知，以上两个电阻都比较难买到，采用近似的办法R14取值为20kΩ，R15取值为12kΩ。

将前置总增益设为3，而从式(3-3)可知，滤波器的增益为1.586，那么IC4A的增益应为2，即是$1+\frac{R_{13}}{R_{12}}=2$

那么$R13=R12$

为了使IC4A同相输入和反相输入满足直流平衡条件，取R13和R12阻值均为20kΩ的电阻。

低音扬声器为15W/4Ω，由式（2-1）知，$U_m=10.9V$，那么输出信号的峰峰值$U_{p\text{-}p}=21.8V$，而输入信号峰峰值为700mV，信号经过R8、R9和RP3后进行分压，实际电路中测得此处的分压系数约为3，因此低音信号总增益A_v为：

$$A_v=\frac{1}{3}\times 2\times 1.586\times\left(1+\frac{R_{17}}{R_{16}}\right)$$

$$=\frac{21.8V}{700mV}\approx 31倍$$

$$则1+\frac{R_{17}}{R_{16}}\approx 31\rightarrow\frac{R_{17}}{R_{16}}=30$$

在这里取R16= 680Ω，R17=20kΩ。图4中R26是稳定LPF的输入信号电平，防止电路启振，在调试过程中发现，IC4A部分的信号增益不要超过2，否则电路容易启振。

电路制作

电路PCB图如图6所示（未覆铜）。装配好的电路板如图7所示，为了使左、

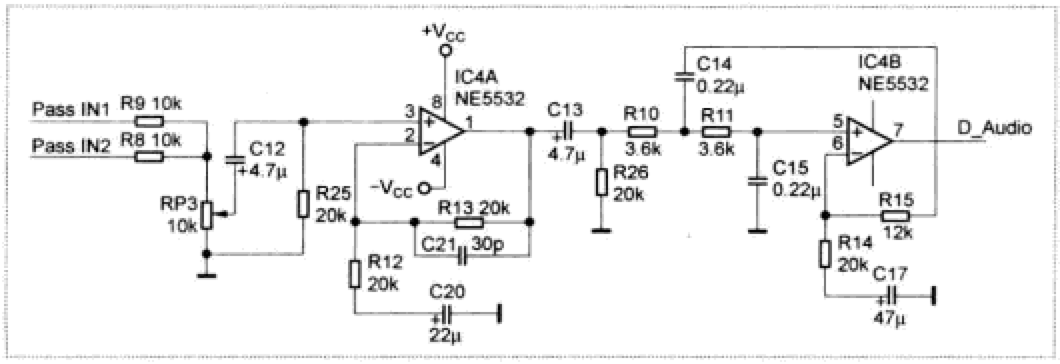


图4 前置电路和低通滤波器电路

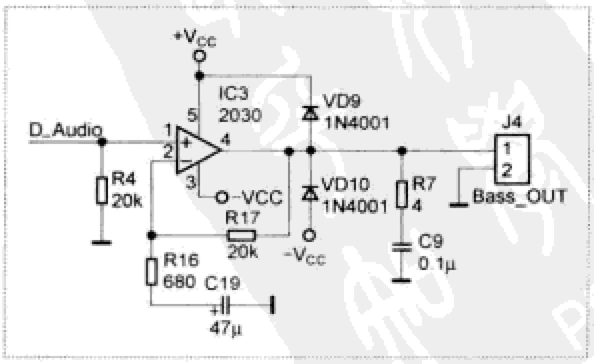


图5 低音功放电路

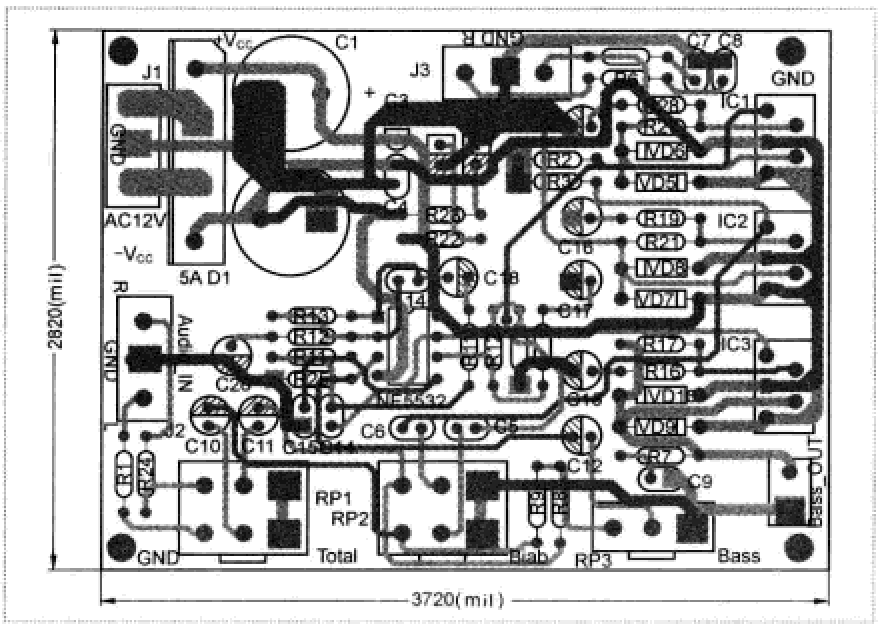


图6 PCB图

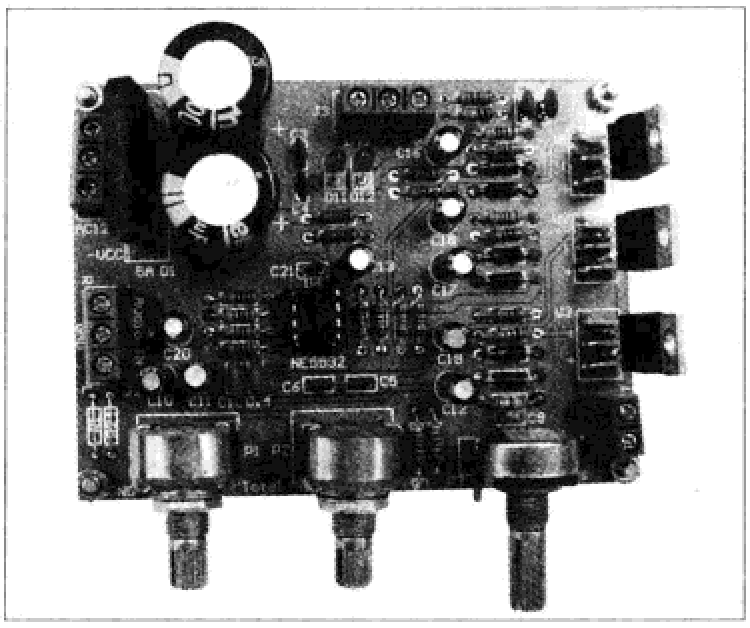


图7 电路装配图

右声道增益均衡和低通滤波器发挥良好的性能，在以上电路部分均应采用精密电阻，在这里采用金属膜五环电阻。为了减少在调音时由人体引入的静电干扰，最好用一根导线连接三个电位器的外壳接地。R1和R24主要是调节输入信号的幅度，防止过大的输入信号致使输出出现失真，但本电路电源有一定的余量，在连接电脑调试过程中，未发现由信号过大引起的失真，由于此处需要在连接不同音源设备中做灵活处理，因此在装配时做短路处理。

电路调试与测量

1. 将电位器RP1、RP2、RP3均调到最大，当输入信号为$V_{ip\text{-}p}$=700mV，频率为100Hz的正弦波时，高音输出信号$V_{op\text{-}p}$=11.56V，此时低音$V_{wp\text{-}p}$=19.60V，保持输入信号幅度不变，缓慢增大信号频率，观察低音输出信号幅度，直到低音$V_{wp\text{-}p}$减小为100Hz的0.707时停止，测量此时信号的频率为223.51Hz，即为低通滤波器的截止频率，考虑元件的量值差异，以及测量误差，基本满足设计要求。

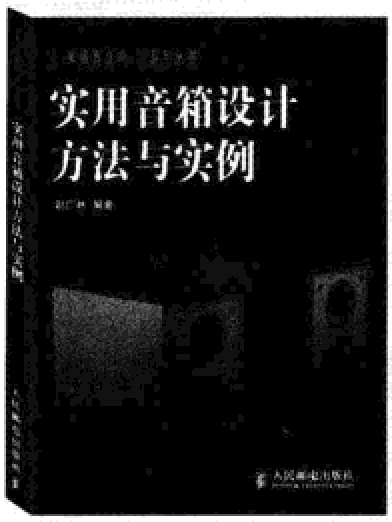
2. 将电位器RP1、RP2、RP3均调到最大，当输入信号为$V_{ip\text{-}p}$=700mV，频率为1kHz的正弦波时，高音输出信号$V_{op\text{-}p}$=17.62V，此时低音$V_{wp\text{-}p}$=1.16V。

3. 接上高低音扬声器，连接电脑音频输入，优美的音乐通过功放和扬声器后给人带来的震撼，高音清脆、明亮，低音厚重，富有震撼力，电路调试成功。

总结

本设计的2.1多媒体音响主要是满足入门级听音者的要求，因此在设计上控制制作成本，扬声器的成本也需要考虑，虽然优秀的扬声器会给功放音质带来翻天覆地的变化，但是往往价格昂贵。选择时要注意扬声器的标称阻值和标称功率。

在调试中发现电源指示灯亮度随着声音有起伏现象，主要有两个原因：一是变压器的功率，变压器功率越高价格越贵，本设计总功率为25W，因此要求变压器应有不低于30W的功率。二是C1和C2的容量，容量越大，直流稳压效果越好，电源指示灯亮度变化主要是LED两端电压变化所致，因此大容量电容是解决问题的关键，但是容量越大价格越贵，会使成本大幅上升。当然电压变化会影响低通滤波器的滤波效果，可以在滤波器电源端增加稳压模块来解决。



书号：ISBN 978-7-115-23977-8
定价：38元

新书介绍

《实用音箱设计方法与实例》一书已经面世，该书从音箱原理入手，详细介绍各种档次音箱箱体和分频器的业余设计和制作方法，书中给出了大量制作实例及扬声器的详细资料。该书层次清晰、资料翔实、语言通俗、实践性强，适合广大电子爱好者和音响爱好者阅读。

◎松贵年

一款旗舰级813单端甲类胆机的制作

橘红的灯丝令人着迷，悠扬的旋律叫人陶醉，胆机迷人的音色令无数发烧友心驰神往。笔者是个十足的胆机发烧友，对胆机情有独钟，喜欢收集各类胆管，亲自动手打造自己心仪的“终结航母”。每一款胆机都是一部充满艰辛和快乐的杰作，从不同的角度审视外观和工艺，使其视觉效果趋于完美，反复聆听风格迥异的乐曲，使其音乐表现尽善尽美。在我打造的很多款胆机中，有些经过一段时间的试听，满足不了我对胆机发烧的“标准”，便撤出我的发烧柜，转手给他人，唯独有一款旗舰级的813甲类单端胆机稳坐于我的发烧柜很多年，笔者对它喜爱有加，它是我家客厅的镇宅之宝。这款813胆机音色亮丽、音质甜美、声场宏大，音乐细节丰富，使人陶醉于清澈美妙的音乐之中，简直不识人间烟火。

放大电路的设计

第一级电压放大电路（图1）采用国产6J8P，它是一只中高频电压放大五极管。该管底声温暖，音乐味浓郁，根据电子管手册上给出的6J8P的工作参数，将该管的电路改接为三极管接法，这样做的目的是减少失真，使声音更加清澈、纯真。静态电流为8mA，屏极电压为125V，阴极电阻取值为*R*=1.8V/8mA=225Ω，选取220Ω，这一级电路不加旁路电容，采用阴极电流负反馈形式，可以展宽频带，提高整机的信噪比。

推动级电路采用国产6N8P，是J级品。它是一只优秀的电压放大管，内部由两只三极管组成，在很多世界著名的胆机中都曾有它的身影。为了增大推动功率，将内部两只三极管并联使用。根据电子管手册给定的6N8P的工作参数，确定其工作点，使其工作在特性曲线的线性区域内。静态电流为12mA，屏压为235V，阴极电阻R=8V/12mA≈667Ω，选取680Ω，阴极电阻加旁路电容，选用不同品牌的电容，音乐表现各不同，增大电容量，对改善低频效果明显。笔者选用国产天和25V/220μF的电容。

功率放大级电路采用无负反馈甲类单端输出电路，为了提高电路的保真度，813采用三极管接法。它是一只直热式大功率束射四极管（图2），用作甲类单端输出时，其最大阳极功率为100W，根据电子管手册给定的参数及813静态特性曲线图确定工作点，将阳极电压确定为1050V，阳极电流为90mA，阳极功率为94.5W，阳极功率在安全范围内，静态工作点处于线性区域内。按阳极功率的30%计算，该功率放大电路的输出功率为28W，能完全满足发烧的要求。整机为开环放大电路，没有采用大环路负反馈，瞬态响应好，音质爽快。

电源电路的设计

单端放大电路对电源的要求很高，一款优秀的电源是打造一部胆机成功的关键，是胆机制作中的重头戏。笔者采用目前非常发烧的做法，用3只变压器分别供电，813高压由单独一只变压器提供，

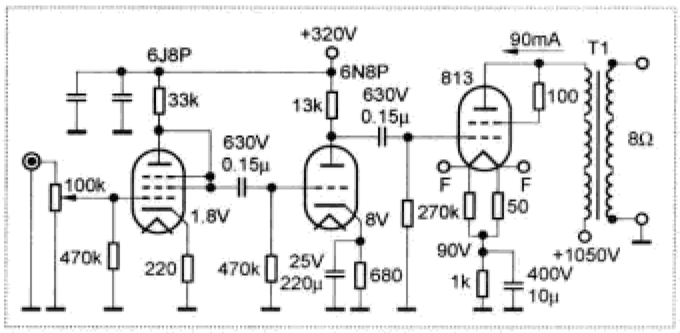


图1 813单端甲类放大电路

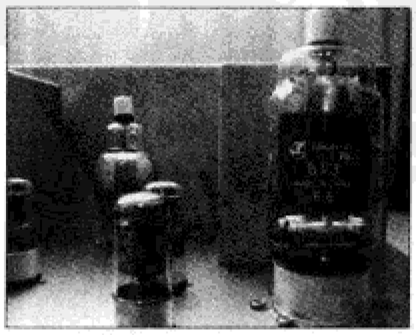


图2 813管的外形

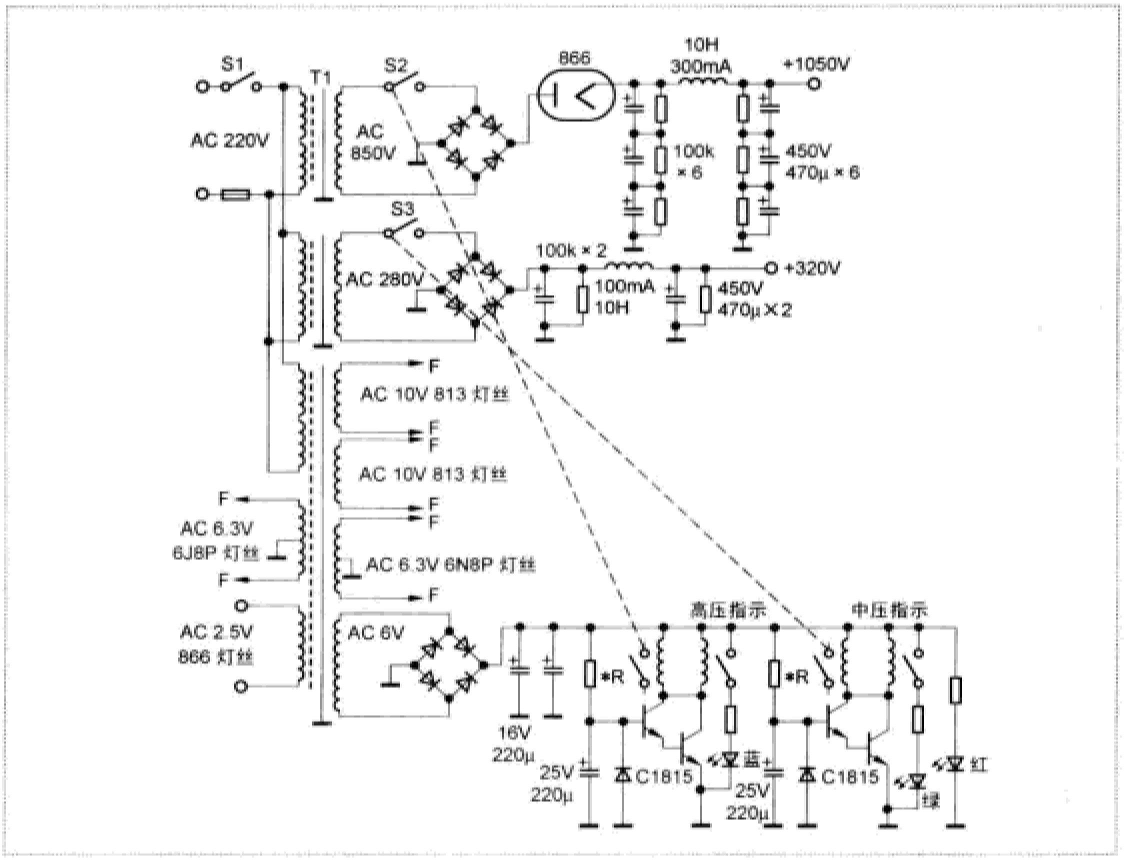


图3 813单端甲类放大器的电源电路

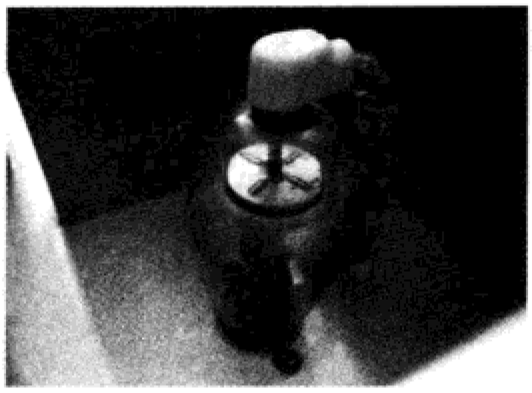


图4 高压汞气整流管866的外形

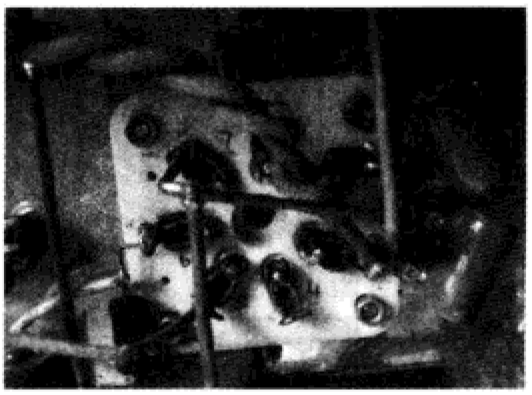


图5 813管的管座，相互绞合的是灯丝线

6J8P和6N8P屏极电压单独由另一只变压器提供，813灯丝电压、6.3V灯丝电压、2.5V灯丝电压由第三只变压器提供（图3）。高压变压器经过桥式整流，将脉动直流电送至866，866是一只高压汞气整流管（图4），在这里起缓冲作用，增强胆味。滤波电路采用传统的CLC电路，这是一种发烧友常用电路，滤波效果优良，音乐背景干净、宁静。

所有的灯丝都是交流点火，6.3V电压绕组中间抽头接地，这种看似简单的接法，消除灯丝干扰效果立竿见影。813是直热管，灯丝交流干扰影响很大，813灯丝电流高达5A，供电线路选择要足够粗，将灯丝线相互绞合（图5），合理布置线路，安装灯丝平衡电阻，微调之，使灯丝干扰减小到最低程度。笔者将两只阻值为50Ω的陶瓷电阻作为灯丝平衡电阻，效果不错。直热放大管交流供电时，至少会有一些交流干扰声，但是整体音乐表现很活跃，胆味很浓郁，非直流供电能比，也是值得的。813灯丝电流高达5A，能将阴极充分、均衡地加热，这是它音质清澈甜美、声场宏大、气势磅礴的原因之一。

电源是按一定的时序供电的，刚接通电源，灯丝马上点燃，大约2分钟之后，6J8P、6N8P屏压供电，5分钟之后，813高压供电，同时866发出迷人的蓝色光。在面板上有3个指示灯，红灯亮，表示灯丝供电；绿灯亮，表示中压供电；蓝灯亮，表示813高压供电。

电源变压器和输出变压器的要求

对电源变压器，笔者下了一番苦功夫，起初是两只变压器供电，其中一只提供高压、中压，所有灯丝电压是由另一只提供，将灯丝电压和中、高压分离开，减少干扰。但在制作过程中，高中压变压器始终嗡嗡作响，漏磁干扰非常严重，安装牛罩之后，嗡声加剧。无奈之下，将这两只精心绕制的变压器撤下，采用高压、中压、灯丝电压分开供电的方法，减少每只变压器的负担。

高压变压器由舌宽40mm，叠厚80mm的铁芯绕制，初级线圈为460匝，线径0.8mm，次级线圈为1776匝，线径0.5mm，绕制时线匝排列紧密，初、次级之间夹屏蔽层，整个线包外层绕屏蔽层，铁芯安装整齐紧密，锁紧夹固螺栓。

中压变压器提供电压放大级和推动级的屏极电压，虽然电流不大，但它左右着整个电路的信噪比、动态范围等的重要指标，在变压器的绕制上丝毫不能马虎。为了提供充足的电流，初级线径为0.7mm，次极线径为0.5mm，线匝排列整齐紧密。为了提高整机的信噪比，笔者采取严密的交流屏蔽措施，在绕初级线包之前，首先在胶木骨架上贴一层屏蔽铜箔，引出接地线，绕完初级，做一层屏蔽接地，使初级和次级的干扰降到最低，绕完次级之后，在整个线包外围再做一层屏蔽接地，消除外界杂散磁场对线包的干扰。铁芯装配要整齐紧密，紧固螺杆一端安装接地焊片，使变压器铁芯可靠接地，不受外界磁场干扰。

灯丝变压器要充分考虑电压低，电

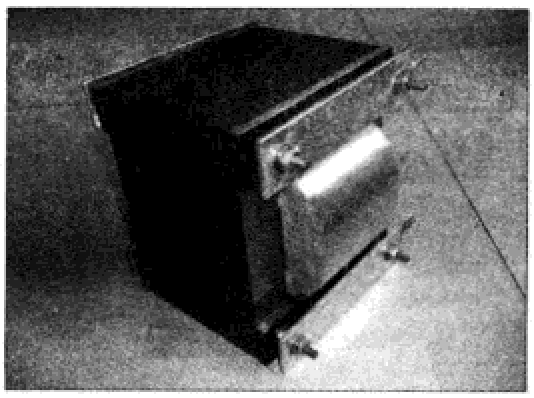


图7 输出变压器的外形

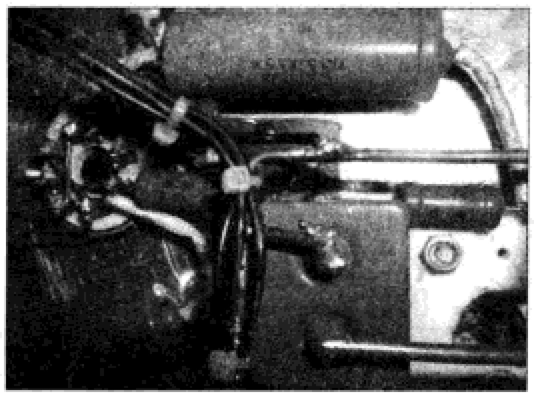


图8 电路板的局部

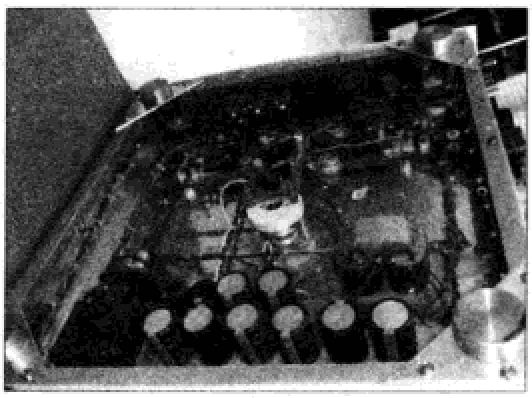


图10 机壳及布局

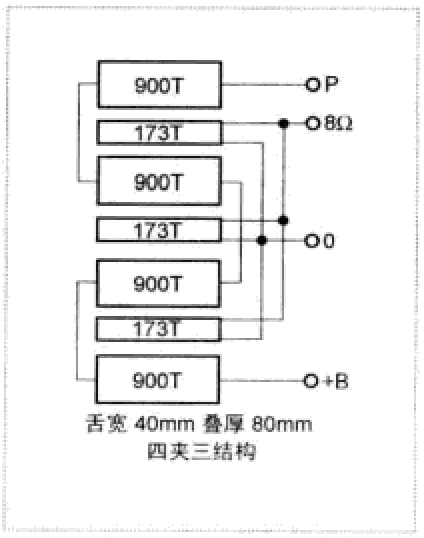


图6 输出变压器的绕制数据

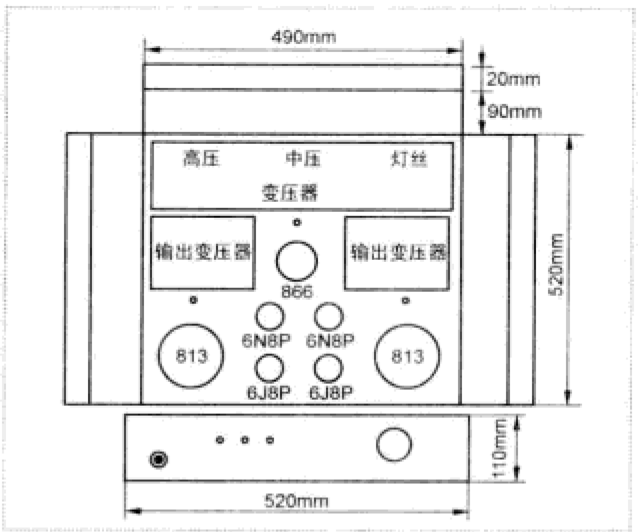


图9 机壳尺寸及整体布局

流大的特点，选择合理的线径，足够通过的电流，且有富余。线径小，线包会严重发热，电压不足。813灯丝电流为5A，866灯丝电流为5A。笔者选用舌宽40mm，叠厚80mm的优质铁芯，初级线径为1.0mm，次级线径为1.06mm双线并绕，为该机提供充足的灯丝电流。灯丝电流不充足，音乐听起来有发涩、干瘪的感觉，电流充足会给人悠扬甜美、丰满动人的感觉。所以，充足的灯丝电流是保证胆机好声的关键之一。

输出变压器是决定一部胆机性能是否优秀的关键部位，也是制作过程中的难点。笔者历时多年，或周游于旧货市场，或冲浪于淘宝网，最终淘到两副自己很中意的高磁感应铁芯，其舌宽为40mm，叠厚为80mm，单片很脆易断，肯定是高磁通的，我信心大增，倍加喜爱，它是笔者操起刀，开始艰难制作的精神动力。

初级线圈为3600匝，线径为0.27mm，次级线圈为173匝，线径为1.0mm，3组次级线圈并联（图6）。初、次级线圈采用四夹三结构。绝缘材料选用介电常数小，厚度薄的耐热材料。品质优良的输出变压器是由科学的设计参数和一流的制作工艺作保障的，笔者将初级一律正绕，没有采用正、反交叉叠绕的工艺，采用Z形绕法，减少分布电容。输出变压器初级线圈相当于是一个大电感，匝数越多低频响应越好，但漏感增大，高频损失严重。减少匝数，高频嘹亮，低频又变得单薄无力。所以初级线圈匝数是个矛盾体，既不能多，也不能少，将其设计在一个合理的匝数范围内，输出变压器的音频输出才会平衡，音乐品质才会卓越。

笔者将初级匝数选定在3600匝，铁芯截面积（4cm×8cm）32cm²的条件下，有足够的电感量保证低音下潜。线包不做清漆处理、烘干后用环氧树脂密封，这是保证高频不受损失的好方法。笔者生活在大西北的青海，气候相对干燥，这种方法安全实用。铁芯装配应整齐美观，单端输出变压器要留合适的气隙，既要保证足够的电感量又不会发生磁饱和。笔者在E片和I片之间夹一层绝缘牛皮纸，气隙约0.2mm。这副个头硕大的输出变压器（图7），工艺精良，它跟身材壮实的813搭配起来，那真是“绿茶配青梅，天生是一对”。

元器件的选择和整机的装配

电阻应选用阻值精确，稳定性好，热噪声小的产品，笔者选用国产大红袍金属电阻，该电阻价廉质优，外观惹人喜爱，是发烧友理想的选择。813的灯丝平衡电阻选用两只阻值为50Ω的大功率陶瓷电阻，阴极电阻选用阻值为1kΩ的大功率陶瓷电阻，813阴极电流为90mA，阴极电阻发热量很大，为保证安全，应选用大功率电阻，防止过热。

电容对音色的影响很大，不同品牌的电容其音乐表现各不相同，尤其是耦合电容（图8）。至于哪种电容好，那是萝卜白菜各有所好的事，你喜欢什么风格的音乐，就合理选用此类风格的电容。该机选用国产CZM系列630V/0.15μF的油浸电容，这种电容音质清澈甜美，对人声、弦

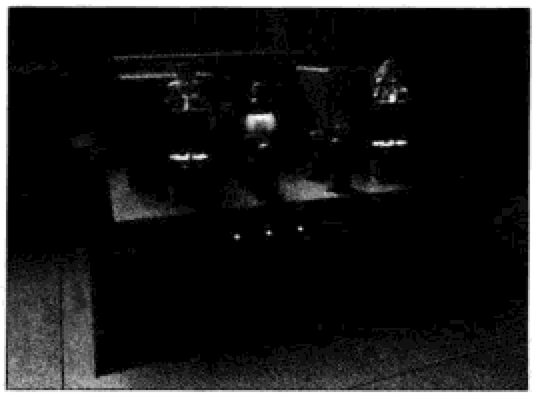


图11 播放中的813胆机

乐表现极佳，通过较长时间的煲机后，其效果可与美国思碧电容相当。

高压滤波电容选用ELNA 450V 470μF电解电容，该电容声音表现低音扎实有力，中频浑厚，密度感强，效果令人振奋。中压滤波由不同品牌的电容搭配组成，使不同品牌电容之间互相补充，音乐表现更加平衡，自然，采用CLC滤波电路。音量电位器选用日本APLAS 100kΩ的，这种产品耐用，性能可靠。整机是搭棚焊接，线路力求简洁，焊点结实牢靠。813的高压供电线路采用直径为1.06mm的高强度漆包线，外套昆仑玉首饰连珠，外观新颖，讨人喜欢，增添了几分姿色。

机壳采用5mm厚的铝板，在铁件加工厂折弯成形（图9），铝板不导磁，不会形成磁通回路，对提高整机的信噪比有显著的效果。铝板表面贴银色金属纸（图10），这种贴纸结实美观，方便实用。面板采用5mm厚的铁板，在汽车修理场做烤漆处理，电位器旋钮选用黄铜，机床加工而成，沉甸甸的很有质感。变压器罩选用1mm厚的铁板加工而成，做银色烤漆处理。机脚也由黄铜加工而成，中心攻丝，紧固于机壳，结实牢固，足以承担这款旗舰级胆机的超级重量。

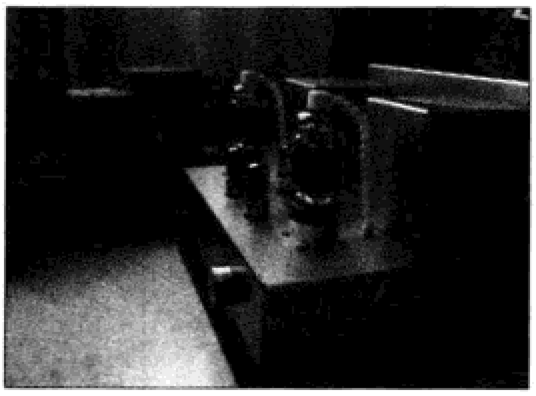
测试及听音评价

整机线路装配完毕，认真检查各个元器件的焊点，确认无误后，通电测试，6J8P、6N8P灯丝电压不插电子管时应在6.9V左右，插入管子应在6.5V左右，813灯丝电压在不插电子管时13V左右，插入管子，应在10V左右。2分钟后，绿灯点亮，中压供电正常，仔细观察是否有过热，冒烟等现象发生，测量6J8P阴极电压应为1.8V，6N8P阴极电压应为8V。5分钟后蓝灯点亮，音箱里伴随一声轻微的“咚”的声响，866发出蓝色光芒（图11），高压供电。测量813阴极电阻两端电压应为90V左右，813阳极电压应在1020V左右，至此，这部旗舰级胆机按时序提供电压，步入正常的工作状态，清澈美妙的音乐就此开始。

听音器材：CD机：建伍DP-7010

音箱：美之声监听一号改良版

第一张是童丽的《梦江南》专辑，将笔者带入江南水乡，清澈悠扬的琴弦乐，娇滴滴的女声，齿音清晰可闻，仿佛江南美女就在我眼前妩媚动人地演唱，笔者按捺不住内心的喜悦，打开陈年藏酒，自酌自饮，喝美酒听天籁之音真是人生最大的享受。第二张是《粉墨是梦》专辑，高音嘹亮，低音浑厚，音乐密度感强，细节丰富，音质甜美，富有磁性，清脆的高音在醇厚的低音间穿梭，仿佛漫步于轻雾竹林之间，阳光斜射，时而有清泉溪流，时而有悬崖飞瀑。令笔者回归自然，忘却凡尘浮世，净化心灵。第三张专辑《百乐门》，欢快优雅的旋律，稳重带有磁性的女声，歌声像缕缕月光，令笔者想起往昔岁月的点点滴滴，一丝心酸涌上心头……



作者简介

松贵年，1975年出生，应用电子技术专业毕业，工程师，酷爱电子电路设计及制作，是有一定温度的音乐发烧友，喜爱Hi-Fi单端甲类胆机、纯甲类晶体管功放的制作。发烧理念：音乐是永远的阳光，胆机释放的音乐清澈、甜美，人生也应如此——简单、快乐！

玩转老功放之纵向比较篇（中）

◎梓门

Pioneer SA-1520的主要电路原理概述

1. Pioneer SA-1520的图示均衡器电路

SA-1520的前级以IC为主，受篇幅所限，这里仍然像之前说明SONY TA-1150那样，按照单元电路来逐一作简单说明，控制部分从简。因为两个通道是对称的，图5中只画出了5段图示均衡器的一个通道，这是一种基于RC有源模拟电感的谐振式多频段音调控制电路，RC分别表示电阻和电容，即阻容元件和放大器共同模拟的电感。

高、低音控制方式的音调电路是以1kHz为中心，在整个音频频域范围内对低于或者高于1kHz的音频信号进行提升或者衰减，这种控制电路可以称之为单频段音调控制。将音频频域按照倍频程的关系分成多个频段，以每个频段的中心频率为基准分别进行提升或者衰减，这样的音调电路一般称为多频段音调控制电路，也称为图示均衡器。

图示均衡器和单频段音调控制电路在电路形式上的差别并不太大，也有无源控制（RC衰减）、负反馈控制、有源衰减控制，负反馈-衰减控制等不同形式。有源谐振电路既可以用于负反馈控制电路，也可以用于有源衰减控制电路。谐振电路的衰减特性好，控制范围宽，提升时为负反馈原理，衰减时为分压原理，兼有负反馈与衰减控制的优点，只是它的控制曲线为单峰，难以兼顾整个音频频域，因此一般只见于图示均衡器电路中。

采用真实的电感构成LC谐振回路，电路的Q值高，临场感好，但是电感体积大，成本高，容易感应低频噪声，瞬态特性欠佳，反应到听感上表现为速度感稍差。不过，凡事利弊两面看，在电路很讲究的老机器中，还是能看到采用真实电感构成的谐振式图示均衡器的。

图5所示的5段图示均衡器，IC201是主放大器，其余的晶体管与相应的RC元件构成了有源模拟电感谐振电路，5个频段的电路形式是一样的，只是RC元件的数值不同，为了简化元件规格，图中的电阻R也是相同的，不同的只是电容C的参数。

谐振式音调控制电路的基本原理是LC谐振电路在谐振点附近呈现的阻抗比较小，因此改变了电压放大器在此频段的负反馈量，相应的，这一频段的增益得到提升或者衰减。将图5中的一个频段单独拿出来进行简化，并将其与基于真实电感的LC谐振电路相比较，得到的基本原理电路如图6所示。用RC元件和放大器构成的有源LC模拟电路只是替代了图中真实电感构成的LC谐振电路，音调控制的原理并无改变。

LC谐振电路的谐振频率在中学的教科书上不难找到，图6所示的RC模拟LC电路

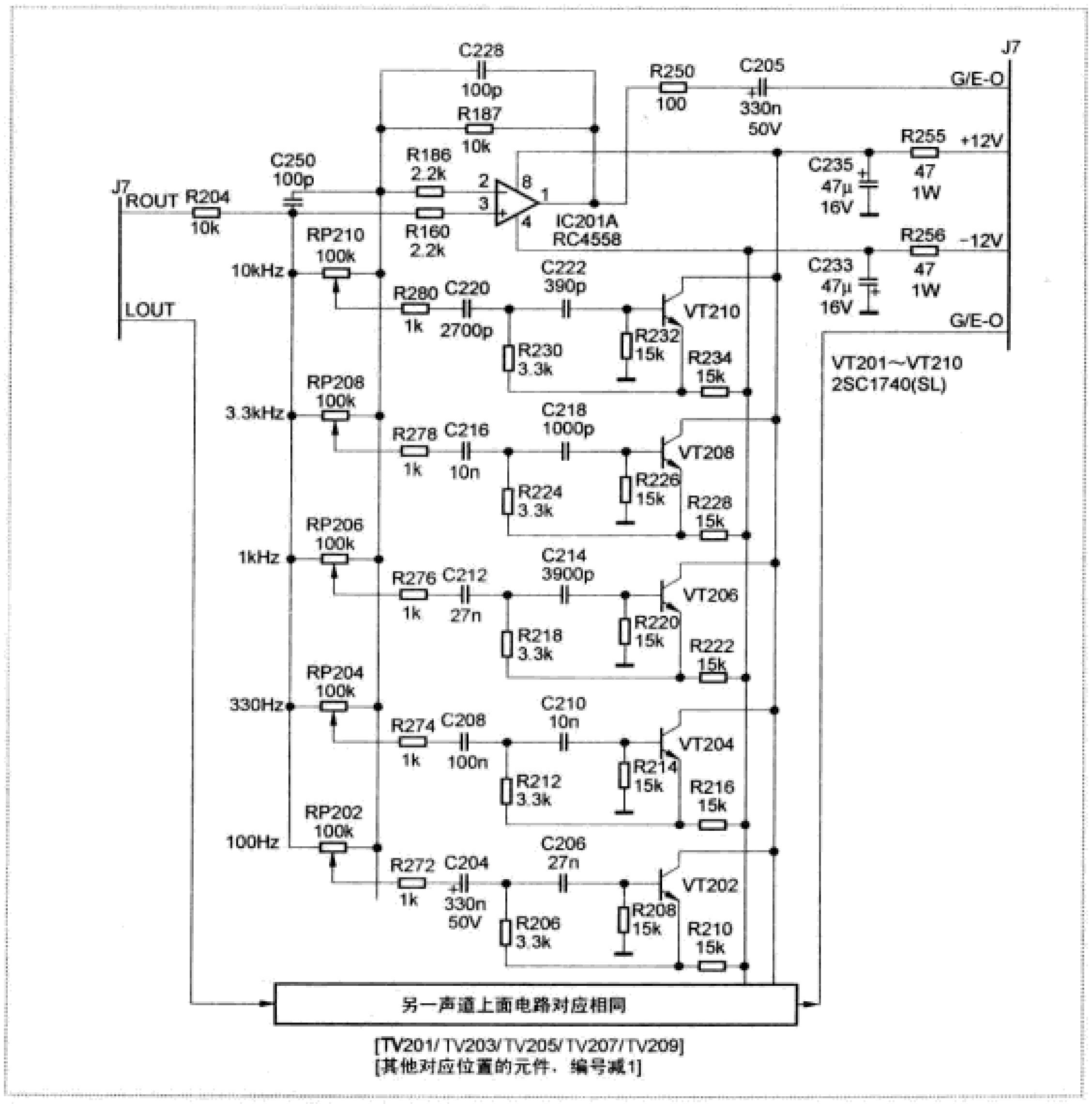


图5 Pioneer SA-1520的图示均衡器电路原理图

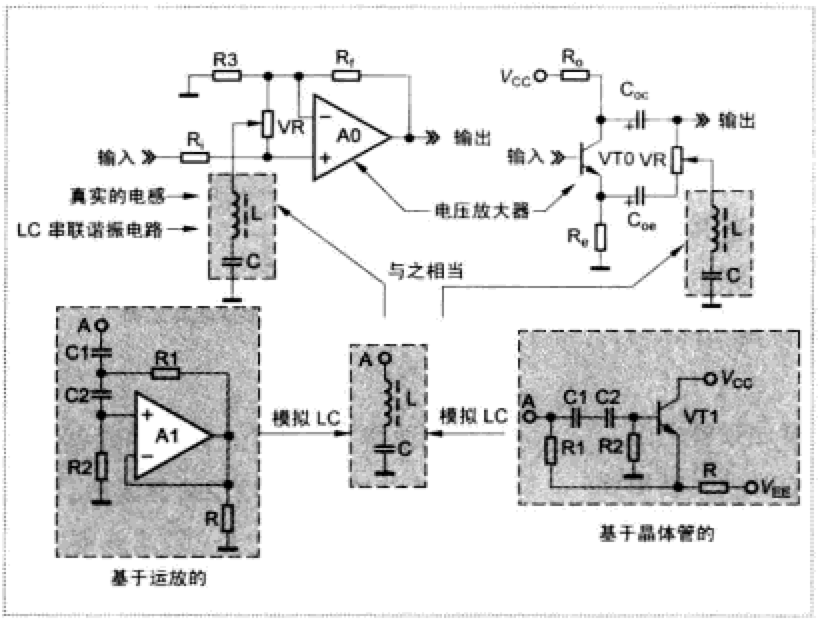


图6 基于有源RC模拟电感的谐振式音调控制电路的基本原理

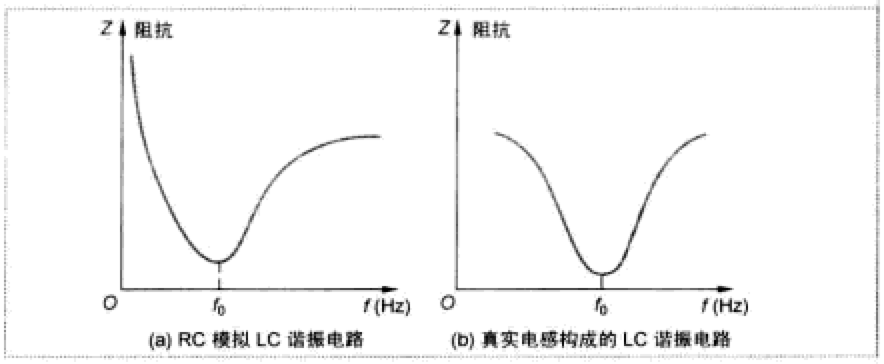


图7 不同器件构成的LC谐振电路的一般频率特性

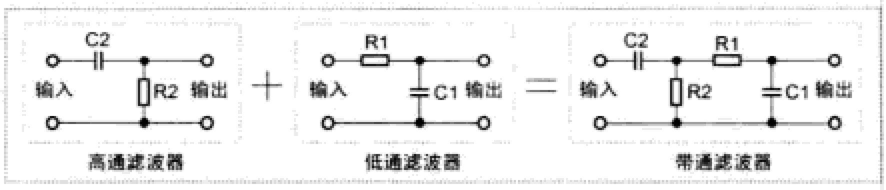


图9 由RC元件构成的3种滤波器

的谐振频率可以根据下式进行近似计算：

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{R2\cdot R2\cdot C2\cdot C2}}$$

，单位：电阻：Ω，电容：F，频率：Hz　（1）

要使不同频段的Q值近似相同，就需要让C1、C2的比值相同，因此图5中的对应于图6中的R1（如R230）、R2（如R232）的电阻值相同，各频段与图6对应的C1（如C220）、C2（如C222）的比值却有明显的差别。

用RC和晶体管构成的有源模拟电感谐振电路能够克服真实电感的一些缺点，有利的方面主要是减小了体积和成本，只考虑成本和技术因素时，它要比真实的电感优越，如果不计成本和技术因素，客观的说，模拟的电感怎么会比真实的电感更好呢？这可以用谐振电路的一般频率特性来说明（图7）。当然，模拟LC谐振电路的阻抗的不对称性可能不像图中显示的那样明显，但是至少能够说明，真实电感构成的谐振电路的阻抗对称性更好。

2. Pioneer SA-1520的电平显示电路

SA-1520配置了5×5，即5段5级的电平显示电路（图8）。所谓5段，是和图示均衡器相对应，将音频频域分成5个频段，分别显示每一频段的电平，并且每一

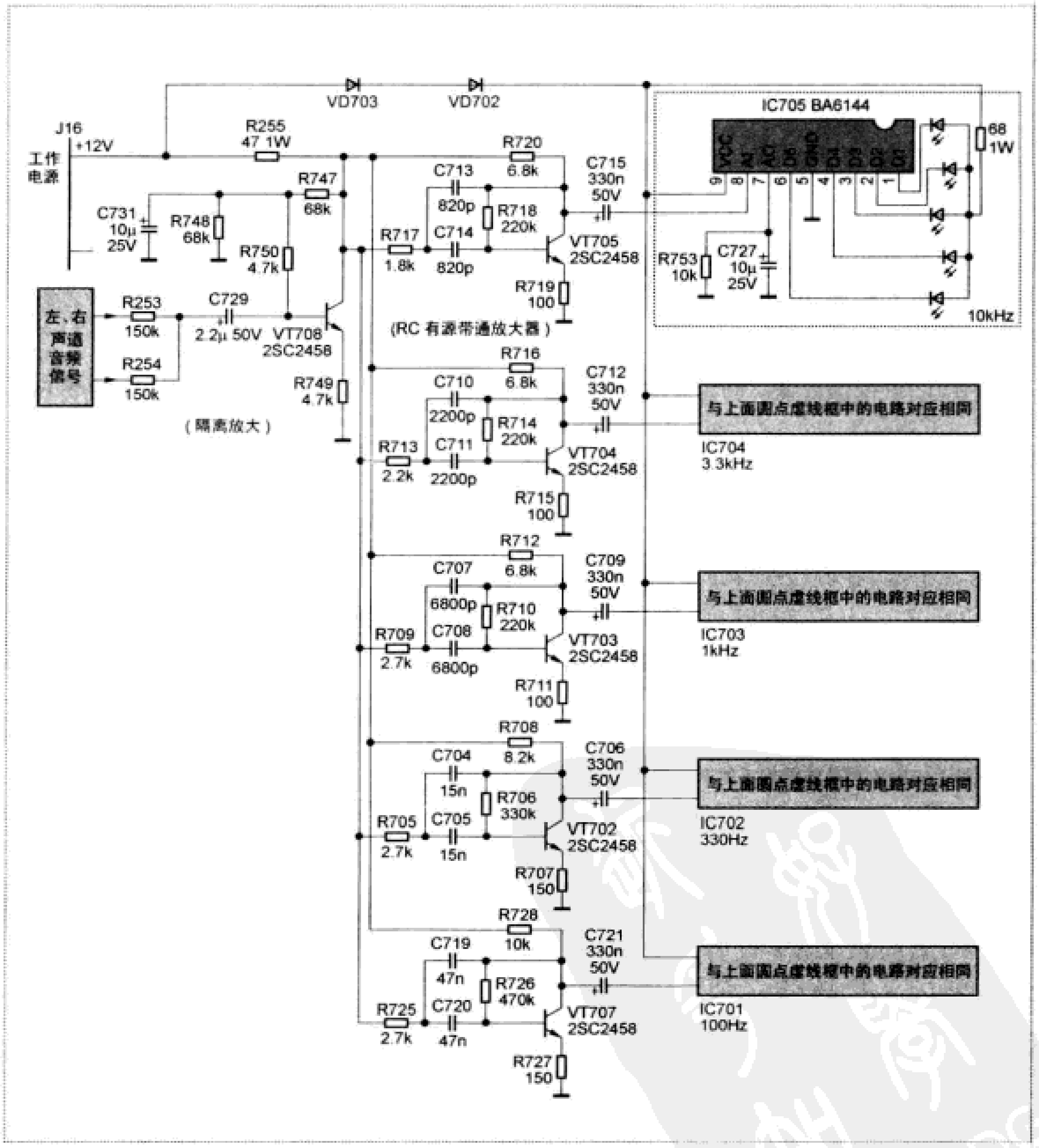


图8 Pioneer SA-1520的电平显示电路原理图

频段的中心频率和图示均衡器是一样的，所谓5级，是将输入的音频信号在安全范围内分成5级来显示，每一级用一个LED表示，简言之，就是直观的显示音频电平的高低，点亮的LED越多，音频电平越高。所谓安全范围，就是不超过功放本身所能允许的、不至于引起削波输出的最大输入音频电平，并且会留有一定的裕量。

具体到SA-1520，5级电平显示的前3级是橘黄色，这是安全的，最后两级是红色，是警示级，实际使用表明，如果5段同时有2级显示红色，保护电路就会动作，切断扬声器与功放的连接。

图8所示的电平显示电路中LED驱动部分采用了专用的集成电路BA6144，日本ROHM（罗姆）公司的产品，电平显示范围是－13～+17dB，典型工作电压为12V，典型静态工作电流为7mA，每路LED驱动电流典型值15mA（恒流驱动）。

因为要分成5段来分别显示音频电平，因此电平驱动IC（BA6144）的前端都串接了有源带通滤波器，只将相应频段的音频信号输入到BA6144的8脚。VT702～VT705、VT707和它们的外围元件分别构成了5个频段的带通滤波器，VT708则是隔离缓冲放大器，避免电平显示电路干扰音频通道。与图示均衡器稍有不同的，电平显示是两个通道共用的，显示的是两个声道的平均音频电平，两个声道的音频信号的混合是由R253、R254完成的。

如果我们仅仅需要某一频率之上、下或者某一频段的信号的时候，就需要用到滤波器（Filter），仅允许“高”于某一频率的信号通过的滤波器，我们一般称之为高通滤波器（HPF，High-Pass Filter），仅允许“低”于某一频率的信号通过的滤波器，我们一般称之为低通滤波器（LPF，Light-Pass Filter），将HPF和LPF结合起来使用，构成仅允许“高”于某一频率并且“低”于另一频率的信号，即某一个频段的信号通过的滤波器，我们一般称之为带通滤波器（BPF，Band Pass Filter）。上述滤波器最简单的形式是由阻容元件构成，如图9所示，一般称之为无源RC滤波器。

由一个电阻R和一个电容C构成的称为1阶滤波器，由两个一阶高通或者低通构成的滤波器一般称为2阶滤波器，图9所示的带通滤波器也是2阶滤波器，因此，带通滤波器至少为2阶滤波器。

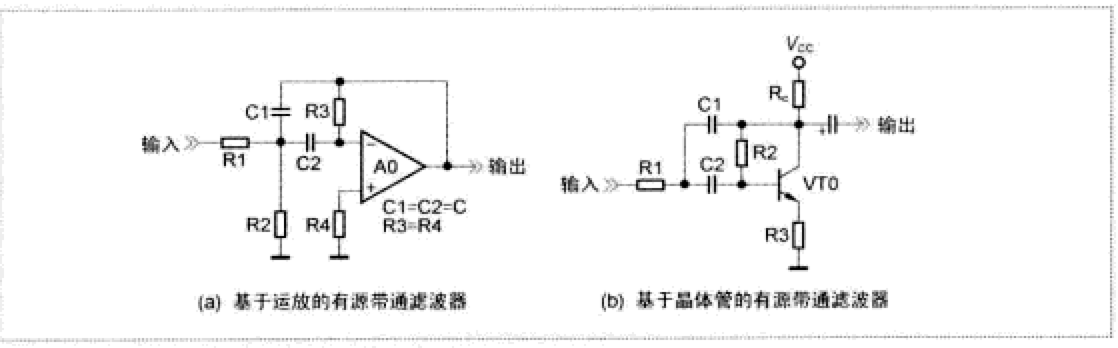


图10 由运放和晶体管构成的有源带通滤波器

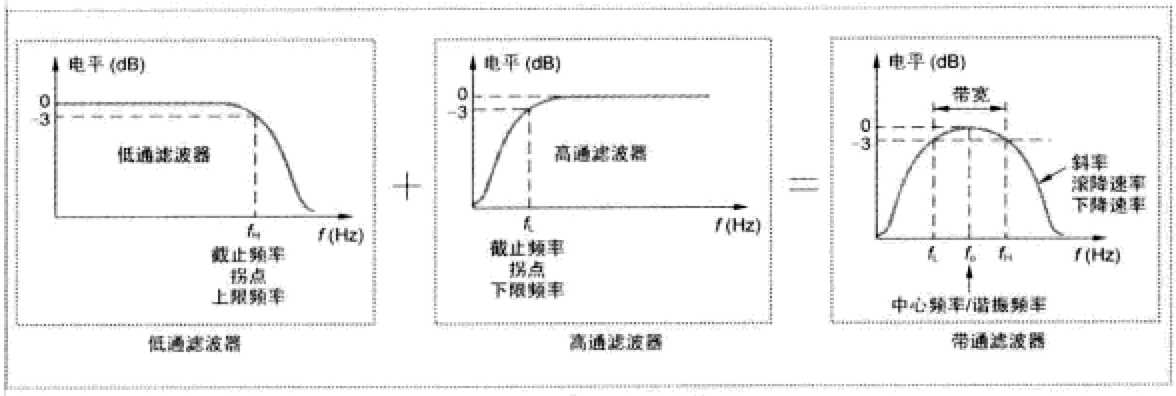


图11 无源滤波器的典型性能曲线以及与滤波器有关的常用术语

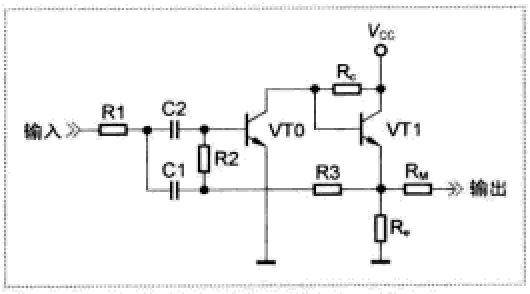


图12 用于音调电路的有源带通滤波器

由阻容元件构成的无源滤波器无疑会对信号造成衰减，为了补偿滤波器造成的衰减，可以将放大器和无源滤波器组合起来，构成有源滤波器，如图10所示，该图中右图的电路形式与原理和图8中是一样的。

滤波器的性能一般用它的性能曲线来衡量（图11）。

滤波器常用的性能参数之一是滚降速率，除了图中标识的说法，有时候还称为带内（外）衰减特性，图中曲线之下为带内，曲线之上为带外。1阶滤波器的滚降速率为6dB/oct，2阶滤波器的滚降速率为12dB/oct，一般而言，阶数乘以6就是该滤波器的滚降速率。

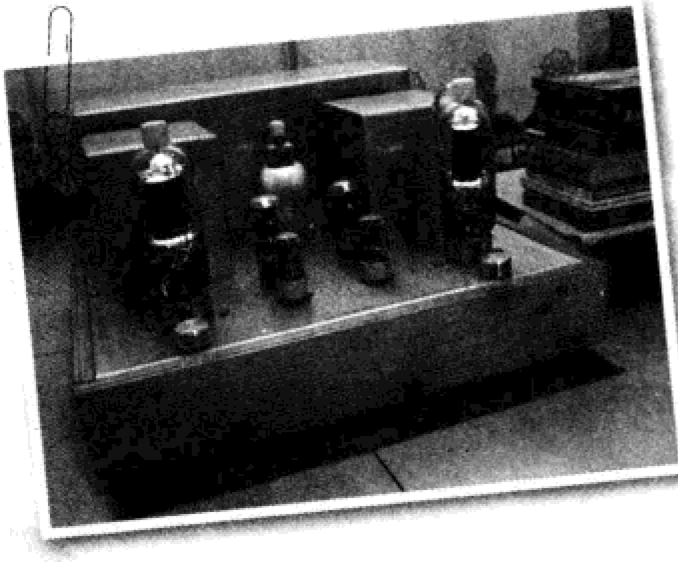
带通滤波器也可以用于音调控制，不过图10右图中的有源滤波器，由于其中的放大器是单级的共发射极电路，输出阻抗比较高，而且输入与输出信号的相位相反，为了提高电路的驱动能力并保持相位不变，如果用于音调控制电路，一般会在后面接上一级射极跟随器（图12）。

图10、12所示的带通滤波器均为2阶带通滤波器，其中心频率（f_0）可以用下式估算。

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{1}{R3\cdot C1\cdot C2}\cdot\left(\frac{1}{R1}+\frac{1}{R1}\right)}}$$

单位：电阻：Ω，电容：F，频率：Hz（2）

第九届
音响DIY大赛
获奖作品



一款805单端甲类功放的设计制作

◎松贲年

笔者一向追求简单、快乐的生活，这种单纯的生活理念源自于很多年执着的发烧体会。高保真的发烧电路大多是提倡“简洁至上”的原则，过于复杂的电路难免会产生一些寄生干扰和失真，使音乐失去原汁原味。

FU805（简称805）是一只内部结构简单、灯丝和阴极复合在一起的直热式大功率三极管，外形如图1所示。它在我国的广播发射领域立下了不可磨灭的功勋。打造一款旗舰级的805单端甲类功放，是藏在我内心已久的心愿。有心愿就行动，这是笔者的一贯做法，经过历时数月艰苦卓越的奋斗，我心中的“香巴拉”逐渐定形亮相。

这款胆机用料扎实，每个元件都是经过认真筛选和精心测试之后挑选出来的，电源牛和输出牛均是自制的，其静态工作点是经过长达数月反复调校后确定下来的。该机音色圆润通透，泛音丰富，音乐味浓郁，久听不厌。我给它起名为TP-805（TP意为土炮）。

放大电路的设计

发烧友是指对某事物有强烈兴趣和狂热爱好的人群，表现为对追求的事物反复琢磨，追求完美。发烧友的目标是相同的，追求自然、平衡、欢快舒畅的音质表现，但发烧的手段各不相同，有的发烧友不惜重金购买发烧补品，提升音乐表现素质，有的极力追求仿制世界名机。笔者的发烧理念是追求线路简洁至上，全面掌握每个元器件的固有特性，统筹考虑电路的各个环节，使每个元器件的潜质发挥最大化，优势互补，真实再现自然、均衡、舒缓优美的音乐品质。笔者的这一理念在这款胆机的设计和制作中得到了充分的体现。

图1 805胆管

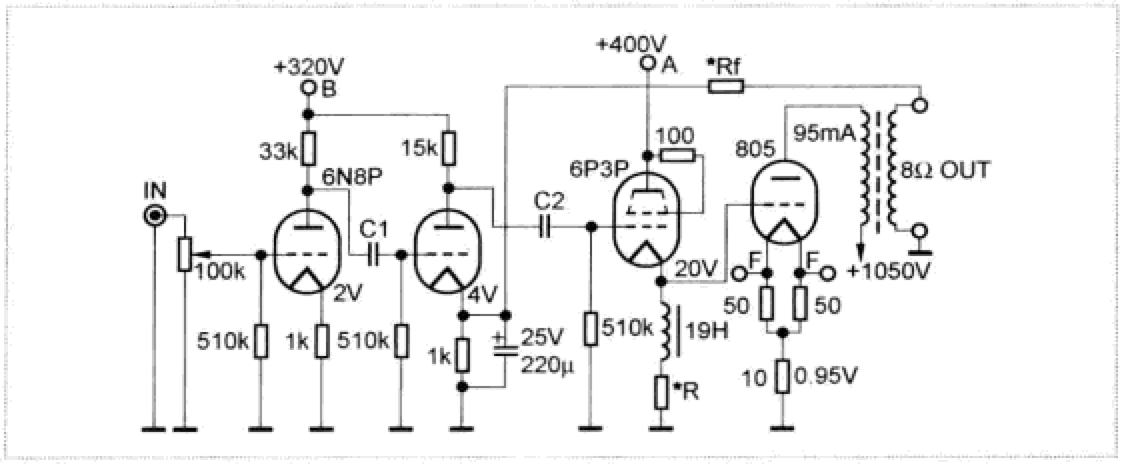


图2 放大电路

放大电路如图2所示。电压放大级对整机的音色起至关重要的作用，首先要根据自己的爱好，选择符合自己口味的电子管。在我的收藏柜中适合作电压放大的电子管有6N1、6N2、6N3、6N4、6N11、6N8P、6N9P等，比较而言，我喜欢使用6N8PJ，这只胆管是一只性能非常优秀的双三极管，音乐味浓郁，音质纯真、自然、声场表现真实。6N8P的工作电路采用阻容耦合两级共阴极放大电路，这种简单实用的放大电路保真度高，胆味十足。根据电子管手册上给出的6N8P的静态特性曲线来确定工作参数，第一级电压放大电路静态电流为2mA，屏压为250V，由此计算得阴极电阻为2V/2mA=1kΩ，屏极电阻为（320V-250V）/2mA=35kΩ，取阻值为36kΩ电阻，第二级静态电流为4mA，屏压为260V，计算得阴极电阻为4V/4mA=1kΩ，屏极电阻为（320V-260V）/4mA=15kΩ。

电压放大级采用两级放大，是为了获得较高的电压增益，提高控制力和灵敏度，为6P3P驱动805打好基础，只有“喂饱”805这匹黑马，音乐表现的潜质才能充分发挥。电压放大级增益的提高势必导致整机信噪比的下降，就要对电压放大级的屏极电压做可靠的稳压处理。FETMOS场效应管是电压控制器件，具有与电子管相似的输出特性，利用场效应管打造电压放大级的屏极稳压电路，效果理想，胆味浓郁。6N8P第一级放大电路阴极电阻采用电流负反馈，拓宽频带，提升信噪比。灯丝由交流电点燃，采用灯丝绕组中心抽头接地的方法，消除交流干扰。

推动级选用6P3PJ，外形是葫芦状的旁热式束射四极管，该管价廉质优，性能优良，是不错的选择。适用于做推动级的胆管还有6L6、6V6，经过试听对比，最终确定6P3P承担推动的重任。三极管的音质纯真自然，6P3P采用三极管接法，与四极管接法相比其推动功率有所下降，笔者将其屏极电压提升至极限值400V左右时，其推动表现强劲有力，音质变得清澈优美，胆味浓郁，效果直逼2A3等直热式三极管，把这只桀骜不驯的黑马805伺候得好声连连。信号由阴极输出，直接耦合到805的栅极，同时为805提供+20V栅压。这种作法的优点是降低推动级的输出电阻，提高推动能力，同时给805栅极提供栅流回路。阴极电感要保证足够的电感量，电感量小会影响低频效应，笔者应用的电感量为19H，调整阴极电阻*R，可改变805工作电流。6P3P和6N8P的外形如图3所示。

附表 6N8P、6P3P、FU805基本参数一览表

参数 管型	灯丝电压（V）	灯丝电流（A）	阳极电压（V）	阳极电流（mA）	栅压（V）	最大屏压（V）	最大阳极功耗（W）
6N8P	6.3	0.6	250	9	-8	330	2.75
6P3P	6.3	0.56	250	72	-14	400	20.5
FU805	10	3.25	1000	95	20	1500	125

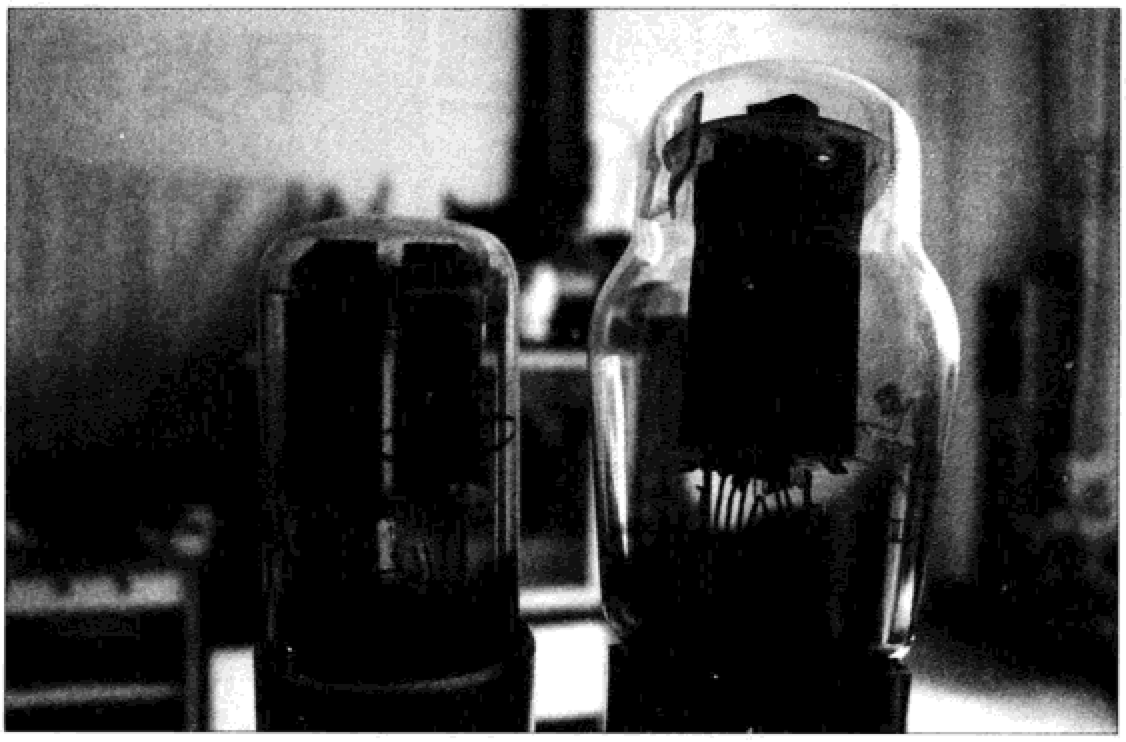


图3 6N8P（左）和6P3P（右）

805是一只直热式碳化钍钨阴极，具有右特性的大功率三极管。如果说845、211是温顺、好伺候的公主，那805就是性格粗犷、难于调教的王子，不容易出好声。其屏极耐压高达1500V，屏极最大功耗为100W，在栅极提供正偏压。根据电子管手册上给定的805特性曲线及参数，当屏极电压1000V，屏极电流90mA时，屏极功耗为90W，805静态工作点处于特性曲线的线性区域内，工作指标优良，且安全可靠。6N8P、6P3P和805的基本参数见附表。

在屏极功率不超出805屏极最大耗散功率，工作点不越出输出曲线的线性区域的条件下，对805工作状态稍作调整，音色会有不同表现，高电压、小电流状态下，音色清澈、通透、明亮。低电压、大电流状态下，音色醇厚耐听，谐音丰富，胆味浓郁。笔者喜欢清澈通透的音色，兼顾805的低音表现，将工作点选择在1000V/95mA。

该电路设有少量的大环路负反馈，因此不会产生较大的瞬态失真，降低了非线性失真、拓宽频响、提高信噪比，使音

质更趋向细腻、柔和。

电源电路的设计

电源是胆机能量的源泉，充足的电能使得胆机动态丰富，声场宏大，音乐活跃，低音富有弹性。尤其是在播放大动态乐曲时，低音能量滚滚而来，表现毫不脚软。笔者在制作胆机的过程中，对电源的投入是毫不含糊的，投入重金打造。高保真发烧器材没有发烧的电源做基础，即便是很优秀的放大电路，也不会出好声。

电源电路如图4所示。整机电源采用发烧友非常推崇的高、中电压与灯丝电压分离，单独供电的形式，由两只变压器提供电能，高、中压由一只变压器提供，所有的灯丝电压由另一只提供。高压交流电经桥式整流，产生直流脉动电压，通过866汞气整流管，加至高压滤波电路，产生纯净的1050V高压，866在这里有缓冲润色的作用，使音乐表现更柔美。866需要5分钟以上的预热时间，等充分预热之后才能正常工作，工作时发出蓝色光芒，非常迷人。滤波电路采用经典而发烧的CLC电路，这种电路滤波效果好，音乐味浓郁。

中压交流电经过桥式整流，产生直流脉动电压，经CLC滤波电路，形成较为纯净的直流电压。因为放大电路的电压放大级的增益比较高，提供给第一级的屏极

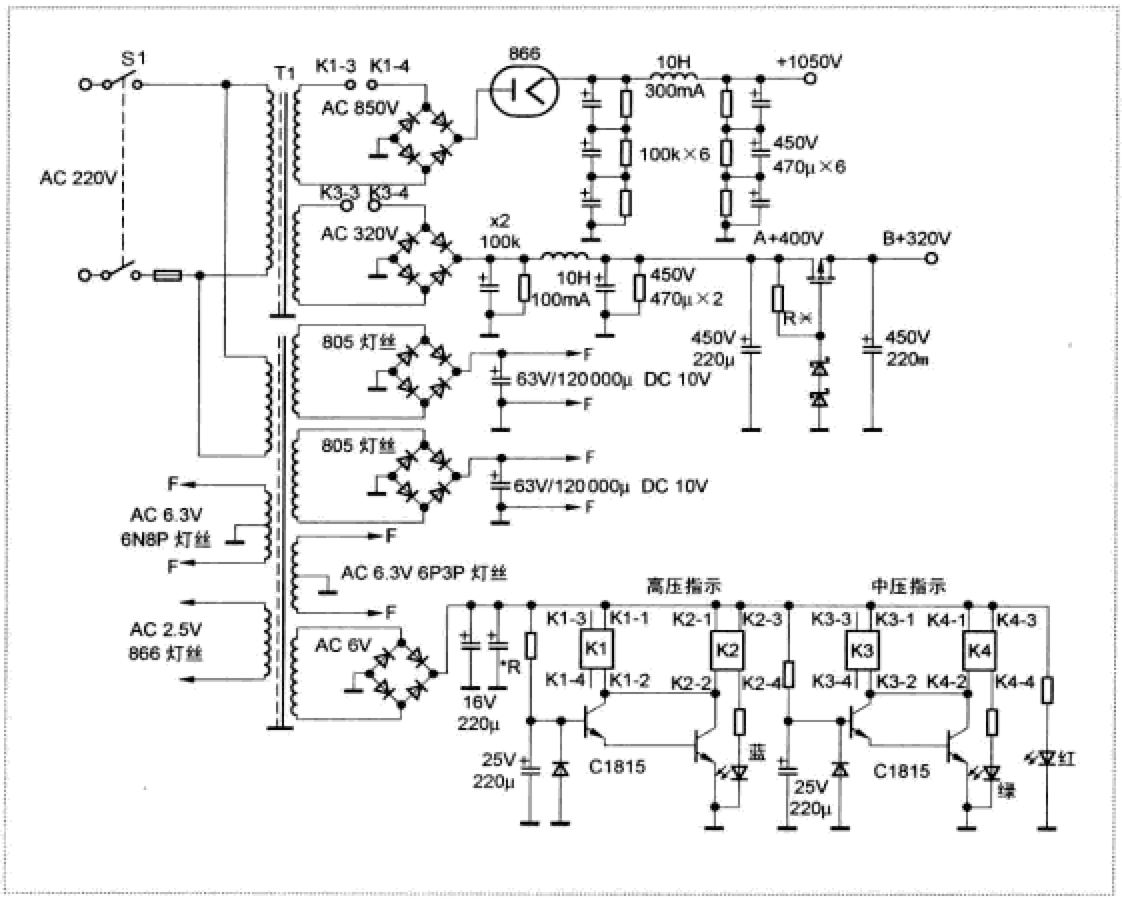


图4 805单端甲类放大电源电路

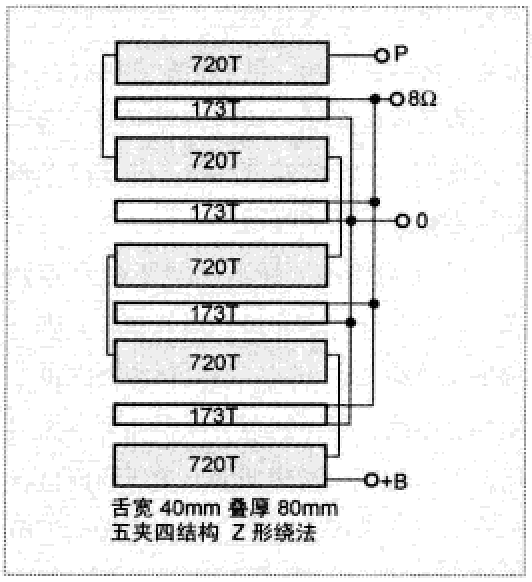


图5 输出变压器的绕制数据

电压必须是纯净无杂波的直流电，否则整机的信噪比难以保证，对此，笔者在这里运用场效应管的稳压电路，效果非同一般，高音纤细，层次清晰，低频富有弹性，声场定位准确，信噪比高，使本机的各项指标提升了等级。

805灯丝由直流电点燃，其他灯丝均是交流电点燃。805是直热式高灵敏度大功率三极管，灯丝交流点燃会产生很大的交流干扰，直流电点燃时有利于提升信噪比，但音乐的表现和胆味远不如交流供电浓郁、耐听。权衡利弊，笔者舍弃了一直比较喜欢的交流供电方式，采用灯丝直流供电的方式。

电压放大级6N8P和推动级6P3P采用交流供电方式，6.3V灯丝绕组中心抽头接地，对降低交流干扰，效果非常显著。笔者一向不喜欢胆机灯丝直流点燃的方式，直流供电虽然提高了信噪比，同时也抹杀了胆管欢快迷人，韵味悠长的音乐表现，显得生硬、死板、干瘪，发烧友戏称其为“太监声”。

该机设有延时供电线路，机内有红、绿、蓝三种指示灯，方便了解本机的供电情况和检修。打开电源先是给灯丝供电，红色指示灯点亮，2分钟后中压供电，绿色指示灯点亮，5分钟后高压供电，蓝色指示灯点亮，同时音箱里伴随一声轻微的“咚”声，866发出迷人的蓝色光芒，至此，这款805胆机按既定的时序提供电压，进入正常的工作状态。

电源变压器、输出变压器的要求

电源变压器和输出变压器是笔者下足功夫自己绕制的。高、中压电源变压器铁芯舌宽 40mm，叠厚 80mm，其输出功率约为 542.6W，足够整机高压功率供给，还有一定量的功率富余。根据N=45/(B·S)(N 为每伏匝数，B=7 000~15 000S 为铁芯截面积单位是 cm²)，笔者保守计算得 N = 45/（0.8×32）≈ 1.75，由此算出各电压线圈匝数：初级 220×1.75 ≈ 385 匝，

高压线圈 850×1.75≈1487 匝，中压线圈 320×1.75=560 匝，线圈绕制排列整齐拉紧，初、次级之间夹绕屏蔽层，抽头接地，铁芯装配紧密整齐，测试数据合格，浸漆烘干。

灯丝变压器的制作遵循以下参数：

805灯丝功率P=10×3.25=32.5W

6N8P灯丝功率P=6.3×0.6=3.78W

6P3P灯丝功率P=6.3×0.56=3.53W

866灯丝功率P=2.5×5=12.5W

整机灯丝功率合计为P=（32.5+3.78+3.53）×2+12.5=92.12W，灯丝变压器的功率至少约为P=92.12/0.8=115.15W。

笔者选用舌宽32mm、叠厚80mm的优质铁芯，充分考虑为整机提供充足的灯丝电流，且有富余量。根据N=45/（B·S）计算得：N=45/（25.6×0.8）≈2.2，由此计算得到：

初级绕组匝数T=220×2.2=484匝

805灯丝匝数T=10×2.2+3（补偿匝数）=25匝

6N8P、6P3P灯丝匝数T=6.3×2.2+2（补偿匝数）=16匝

866灯丝匝数T=2.5×2.2+0.5（补偿匝数）=6匝

805灯丝是由两组独立的绕组，

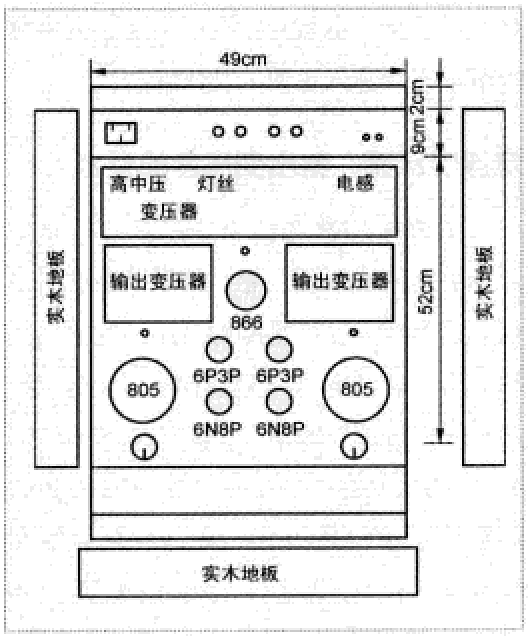


图7 机壳尺寸及整体布局

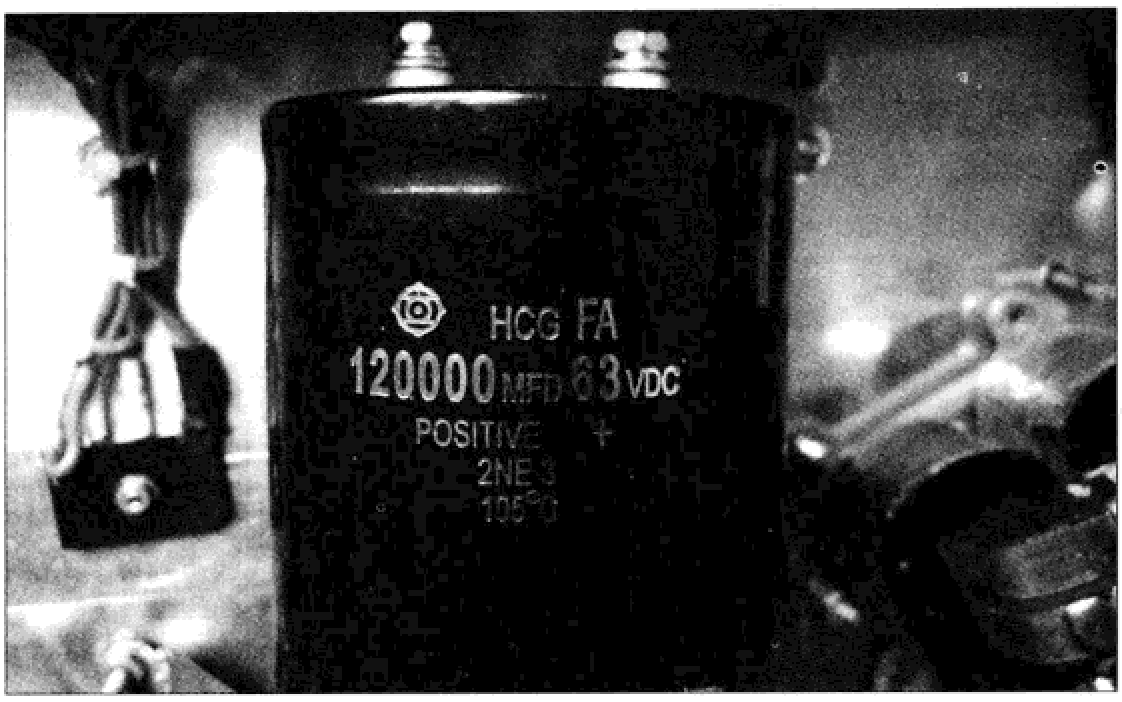


图6 大水塘电解电容

分别供电，866灯丝也由独立的绕组供电。805灯丝电流为3.25A，866灯丝电流为5A，应选取合理的绕组线径，保证充足电流，以3A/mm计算，805灯丝绕组线径d=3.25/3≈1.08mm，866灯丝绕组线径d=5/3≈1.67mm，笔者采用线径d=1.06mm的漆包线双线并绕，有利于线匝的紧密排列，绕制时易于操作，工艺有保证，效果非常不错。去除铁芯表面的附着物，铁芯装配要整齐紧密，美观大方。紧固螺栓，做好接线端标识，浸入绝缘清漆24小时，取出淋干，然后烘干。

输出变压器是胆机的灵魂，一部优秀的胆机其脱俗的音质表现，是与优质的输出变压器息息相关的。发烧友苦苦寻觅的是高磁感应铁芯，当一副高磁感应铁芯摆在面前时，铁芯的舌宽、磁感应强度等参数是固定的，不可改变。发烧友只有在绕组参数的设计和制作工艺上下足功夫，优化性能，这也是发烧友发挥自己智慧，彰显个性的唯一途径。因此，输出变压器绕组的绕法多种多样，有分层分段绕法，正反交叉叠绕法，有蜂房式绕法，Z形绕法等，一旦绕组绕制成形，初级电感、漏感、分布电容等参数也随之确定。笔者认为单端输出变压器没必要做正反交叉叠绕的方式，这种措施在推挽输出变压器的绕制中是不错的选择。笔者采用分层分段，线包一律正绕，Z形绕法，将初级分为五段，次级分为四段，四段次级夹绕于五段初级之中。铁芯舌宽40mm，叠厚80mm，初级绕组3600匝，线径0.22mm，次级绕组173匝，线径0.51mm，四段次级头与头并接，尾与尾并接，如图5所示。初级分五段可以降低漏感，减少分布电容，改善高频响应，次级分四段，可以提高初次级之间耦合程度，音乐输出更加平衡、自然。线匝绕制要整齐紧密，绝缘材料选用介电常数小，厚度小的耐热材料。铁芯装配要整齐，剔除芯片表面的杂质，对接口要平整，调整变压器E片与I片的空气间隙，使初级电感量尽量最大，紧固螺丝。

笔者对输出变压器一贯不做浸漆处理，先在线包外表面绕一层薄铜皮，抽头接地，杜绝磁路干扰，然后再绕两层自带胶的金属纸，烘干线包，两侧用环氧树脂密封，这种做法能降低输出变压器的分布电容，减少高频损失，会让你享受到清脆嘹亮的高音，在气候干燥，湿度小的北

方地区，这种做法很实用。输出变压器初级的线径可以根据铁芯窗口的大小，在0.19~0.35mm选取，线径小音质表现清脆、通透、细腻。线径大，则表现为醇厚，富有质感，胆味浓郁。805胆管音乐表现较为粗犷，低频的动态效果尤为突出，笔者选用0.22mm的小线径漆包线绕制初级线包，使得音乐表现细腻、平滑。

元器件的选择和制作安装

元器件要做认真细致的筛选。电阻用的是国产大红袍，这种电阻价廉质优，外观惹人喜爱，音色醇厚温暖。耦合电容对音质的影响很大，应选用品质优良，音乐效果佳的产品，笔者选用国产CZM630V/0.15μF油浸电容，这种电容体积稍大，但音乐表现不俗。805胆管直流供电的滤波电容，是两个日立牌63V/120 000μF的大水塘电解电容，如图6所示，有这两只超级大水塘电容坐阵，本机的信噪比指标很优秀，只有耳朵贴近扬声器时，才能听见微弱的交流干扰声，即便是音量电位器开到最大，交流干扰声依然很微弱，几乎听不到。寂静的夜晚，该机一片宁静，只有欢快迷人的旋律，丝毫没有与天籁之音不相和谐的“嗡嗡哼哼”声。

高中压滤波选用ELNA450V/470μF电容，该电容低音扎实，中频密度感强，效果非同一般。笔者手头有音乐味不错的油浸电容，只因个头太大无法放置，遗憾不已。输入、输出接线柱是纯铜制品。音量电位器选用日本APLAS 100k，该电位器性能稳定，手感好，坚固耐用。笔者将两只音量电位器位置设计在805胆管的前面，分别控制左右声道的音量大小，控制左右声道的声场平衡，增添更多动手操作的乐趣，以充分满足对胆机发烧的那份情结。

由于变压器个头大，质量重，机壳采用5mm厚的铝板，在铁艺加工厂折弯成形，两边安装三角铁支撑架，用螺栓与铝壳紧固，底部安装四只铜制的圆形支撑脚，坚固牢靠，足以承担这款胆机近百斤的重量。牛罩选用1mm厚的铁板，在铁件加工厂代工，表面以银色金属烤漆处理。铝机壳表面贴一层自带胶的银色金属纸，与牛罩浑然一体，美观大方。

机壳尺寸及整体布局如图7所示。为了消除金属机壳冷冰冰的感觉，笔者奔赴木地板市场寻觅，终于淘得一款柏木材质，颜色花纹都很考究的地板，将其按尺寸加工处理，镶在机壳两侧及前面板，视觉效果截然不同，有古色古香，温暖养眼的效果。整机采用搭棚焊接，机壳内部贴一层铜箔作为地线，接地点就近接地。805管座材质为不锈钢，其做工精细，牢固美观。805高压线为直径1.06mm的漆包线，外套黄绿相间的绝缘彩珠，垂落于805身后，增添了几分姿色。看上去让人联想到清朝皇宫里留着辫子、年轻帅气的阿哥。

电路调试与听音评价

不插胆管通电测试，805灯丝电压为13V，6N8P、6P3P灯丝电压为7V，插入805胆管灯丝电压应为10V，插入6N8P、6P3P后电压应为6.5V。2分钟后，绿灯点亮，中压供电，检查电压放大级和推动级是否有冒烟、打火、过热等现象。测量第一级放大管的阴极电压为2V，阳极电压为250V，第二级放大管的阴极电压为4V，阳极电压为260V。测量推动级6P3P阴极电压应为20V，阳极电压为400V。5分钟后，蓝灯点亮，866发出蓝色光芒，高压供电，测量805阳极电压为1 020V左右，阴极10Ω电阻两端电压应为0.95V。至此，这款超级805胆机按既定的时序供电，进入正常的工作状态。

试听效果

听音器材：

CD机：健伍DP-7010
音 箱：金镍悠闲二号MKⅡ书架箱

笔者怀旧情绪浓烈，自然喜欢经典怀旧的乐曲。一曲手风琴演绎的《喀秋莎》，手风琴那富有质感的琴声，热情激荡的旋律，节奏欢快，低音醇厚，一股奔放率真的气质，使笔者感受到战火纷飞的年代里生者的勇敢和乐观。

人声、弦乐是单端胆机的强项，这款805的表现尤为突出，高音纤细，中音华丽富有质感，低音下潜很深，滚滚能量扑面而来。播放碧娜的《温柔吻语》专辑几首曲子后，温柔的音色，柔情似水的歌声，处处彰显出温柔妩媚的风情，声声触动着笔者的心弦，令人的脉搏随着音乐一起跳动。悠悠岁月，笔者额头多了几丝皱纹，而音乐依旧欢快悠扬，音乐的魅力是永恒不变的。王雅洁的《小调歌后》专辑，清脆悠扬的古筝，优雅别致的女声，联想起高山流云，令人心情豁然开朗，没有一丝郁闷，凡尘浮世的琐事皆与我无关，心灵与自然融合在一起。

每当夜幕降临的时候，打开这款胆机，805橘色的灯光与866蓝色的光芒交相辉映，景象壮观，视觉效果极为迷人，我深深的陶醉于其中，是因为这款805胆机清澈明亮，丰满动人的音质，还是因为绚丽多彩，辉煌无比的视觉效果，我不得而知。或许是我的视觉和听觉全都被它“勾引”走了，叫我怎么能不陶醉呢！

今年我有幸能参加第九届中国音响DIY比赛，这是我第一次以网络的形式参加比赛。也正是因此，我对这次比赛产生了更浓厚的兴趣。也希望在这次比赛中尽可能地发挥出自己的水平，制作最好的作品展现给大家。但是在设计中的一些不足之处是不可避免的，还望大家指正！

DIY
第九届
音响DIY大赛
获奖作品

我的改进型50W B类AMP诞生日志

◎梁文志

我制作的目标是一款外形简约、平静而又具个性，适合于客厅使用的功放机。基于我家客厅的面积和功放的摆放位置，我决定将输出功率定在50W，选用效率较高的改进型B类放大方式，不增设调音电位器，由音源遥控控制。在设计过程中，我很注重产品的外观，因为它是给大家的第一印象，一款外观大方，简洁实用的产品，可能先会引起你的注意。

机箱的选择

我希望先确定机箱外形，然后进行内部的规划。功放一般多为长方体，也有一些异型机。在机箱材料的选择上，经过一番考虑后，我决定用亚克力。因为它颜色鲜艳，很有质感，于是马上上网了解详情，但发现其单个制作成本高，且不利于散热，就否定了这个想法。最终，我还是决定用金属材料制作。由于大多数机箱都是“DVD”型（扁平长方体），使得外形很传统，不够个性，所以我对这种形状的机箱不太欣赏。另外，我也不喜欢单声道结构，很多人认为单声道功放能够减少信号间串扰，声音一定比双声道好，但并非如此。一般声道之间的串扰低于-20dB就没有必要做成分体机，不过有些名机还是分体结构。而且，我们很容易做到更低的串扰，所以就更没必要做成分体机了。第二天在网上寻找，我转了一家又一家卖机箱配件的淘宝店，突然看见一款仿高文功放机箱使我眼前一亮！我没有马上联系卖家，而是自己按着介绍画出了1:1的图纸，并进行大概的规划测量。我觉得此机箱在机内布局上很有发挥潜力，比“DVD”型机箱更有魅力，外形也很鲜艳，最终拍了下来。这样，确定了功放的外形后也就确定了大概的内部布局方向。

电路的选择

我曾考虑用可靠的集成芯片进行放大，但是其电路固定，外围元件不会对其效果有较大的改善，所以淘汰了使用集成芯片的想法。由于A类功放电流持续流过输出管，所以不存在开关引起的非线性失真，可以获得较高的性能，但工作效率低，发热量较大。相比而言，AB类功放电路的线性度是最差的，所以我对改进型B类线路还是比较欣赏的，也了解其功率和放大的方式，并且改进型B类电路有较高的效率，所以还是采用改进型B类电路。

首先介绍电路：采用经典常见的镜像电流源差分输入级，史密勤补偿，电压放大级，输出使用射极跟随器，每声带使用一对大管，后加菇贝尔网路，每声道使用2个220μF和2个100μF的电容，另外，2个0.1μF电容做退耦。2个3A防反接二极管和2个3A输出钳位二极管起到保护作用（见图1）。220V输入先经过自制的LC电源滤波器（见图2）由电感线圈，0.1μF X电容，串有保险管，并有471压

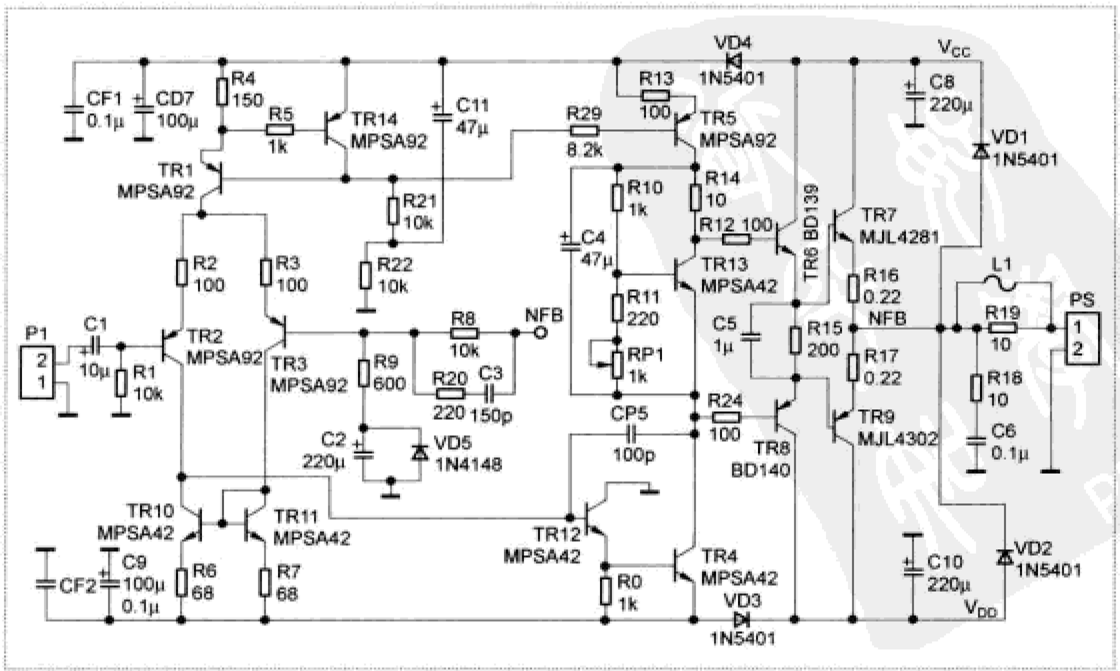


图1

敏电阻，PCB布线使用了较宽的线条，以适应大电流，将电感线圈的引脚弯折贴在电路板上进行焊接（见图3），交流电进入变压器变压后送入到整流、滤波部分。我使用独立的方法设计，每个声道使用1组整流桥，每组由4个ON车轮管和4个0.1μF电容并联（见图4），每声道使用6个滤波电容，总滤波容量实测 112 800μF。电源线和扬声器线都采用2平方的多股线。除了扬声器保护电路我使用了套件，其他印制电路板均为自制。最初设计时我计划使用万用板，但经过考虑后决定自制印制电路板。我认为自制印制电路板才有一定难度，设计出带有自己风格的PCB！

在这里再说下电流型功放，比如我们常见的M6、M7等，很多的功率放大器都向输入阻抗无穷大、输出阻抗为零这一目标来努力。这样可以减少扬声器阻抗曲线峰谷引起的频响变动，从而驱动所有音箱，称为“通用”的产品。若把输出阻抗变得较高，就成为了电流型功放，但会带来新的问题，这只适合特定品种的扬声器。其实电流型功放也有一定的弊端，这里没有使用电流型电路。

输入选择电路

在音频信号进入放大电路入口的是输入耦合电容，通过开关切换不同的耦合电容是一件惬意的事，这里使用了4种电容，一种是nichicon BP-S 4.7μF无极系列，另一种是BENNIC 3.3μF/250V XPP电容，还有一种国产品牌和SICSAFCO 22μF/63V，其不同电容的风味也不同，这是个不错的玩法，电容的切换由编码开关控制（见图5）。

PCB设计

1. 差分输入级PCB设计

输入级由差分放大级与镜像电流源组成，其元件一致性好，有助于减小零点漂移，小功率三极管进行了配对，除配对外物理布局则是要考虑的问题，当然了，一定要设计成走线对称，网络等长，并采用粗细适当的走线，输入级我采用60密尔的宽度（1英寸=1000密尔）。

2. 输出级设计

输出管射极上的两个0.22Ω的电阻向外输出音频信号的同时也是电路的反馈点，反馈点的选择会影响到放大器的失真，我通常是让反馈点距2个射极电阻的距离完全相同，以防止电阻不对称引入失真。把它们设计成T字的形状能够减小相应的失真。在PCB的设计和布局上，我花费了很大的功夫，并查阅相关书籍尽量使PCB设计更为合理（见图6）。由于输出级是放大板中电流最大的部分，所以采用了镀锡的方法。

我不喜欢盲目发烧，网上看到好多评论说换了某某线材后，声音一下子变得明亮了，有震撼力等。我曾看见外国的音响杂志上写到，用镀金插头和镀金插座的电源滤波器会改善音质，我不是很赞同。我认为只要电缆电线安全达标，能够流畅地通过足够的电流，就可以了。一些昂贵的发烧线材虽然对放大器不会产生危害，但对其功放性能不会有所提高。对于单晶铜等这些名词，在音响界没有一个确切属实的说法。至于有些器材上使用的纯银导线，我不知道制作者为什么不把输电线和发电机绕组也换成纯银线？

3. 输出管的选择

我做的很多功放，输出管大部分使用的是2SC5200,1943，很多功放仍在使用，它的指标还是不错的。如果您有条件可以试试ON生产的管子，但我至今还未用过ON生产的MJL功率管。这次买了2对MJL4302和MJL4281，尝尝“名管”的味道，这种管子的指标很好，我们可以通过查看PDF得知，这种管子可以说是恒定β的功率管。若β值随信号强度变化较大，则大信号可能会引起较大的失真，所以恒定β管在大信号时失真较小。在此简单说明一下输出级使用的场效应管，很多人认为功率场效应管能够解决功放的很多问

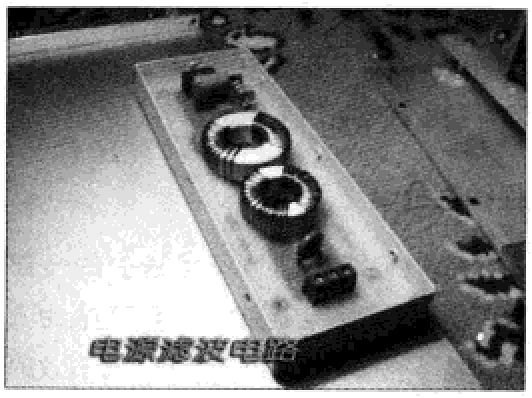


图2

图3

图4

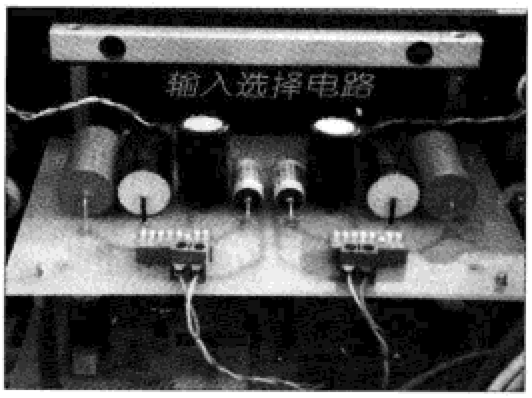


图5

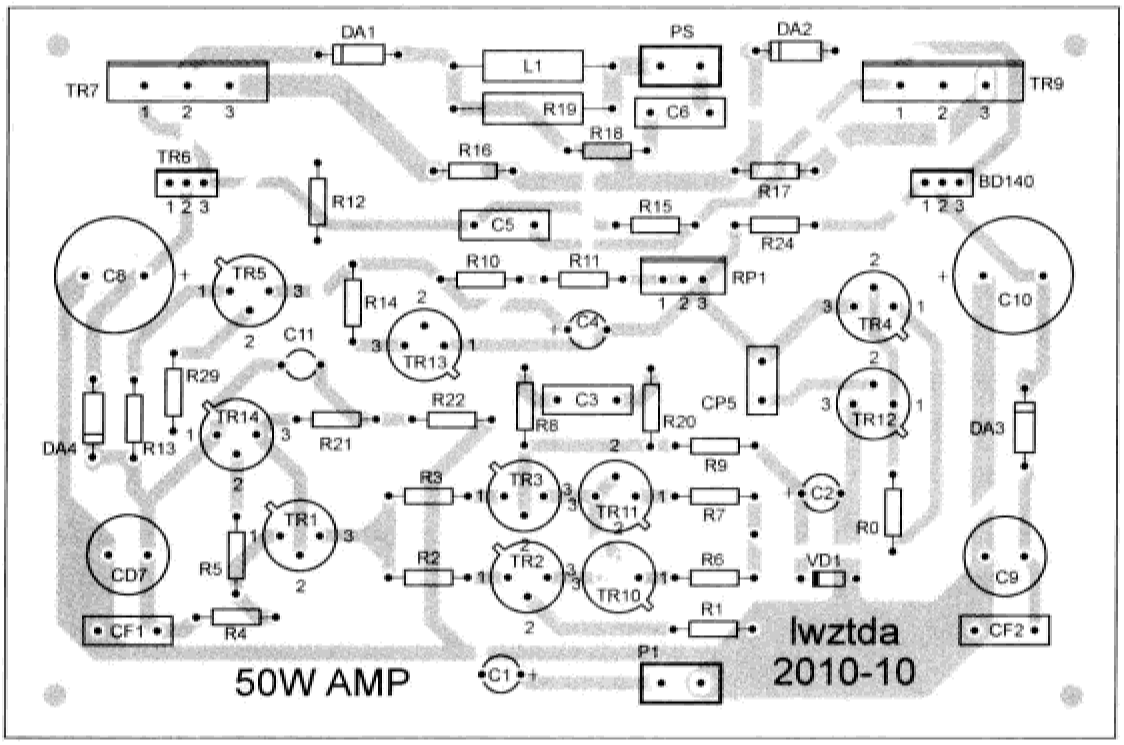


图6

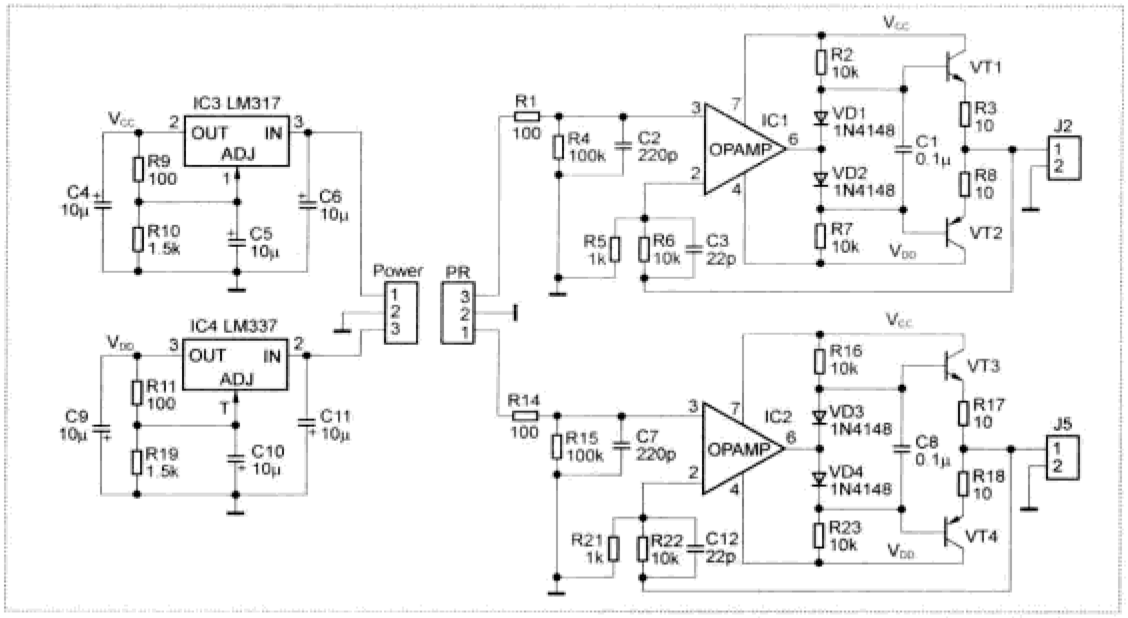


图7

题，但场效应管的缺点还是非常明显的，它的跨导低，线性度也较差，离散性很大，导通电阻较大，会使功放效率下降。另外，它的导通电压为4~6V，而三极管为0.6~0.8V。相对三极管来说价格较高，又不能带来太多的好处。但是它并不是没有优点的，比如说它不存在二次击穿失效，这可简化相应的保护电路，没有电荷存储效应，不会引起电荷效应产生的关断失真。也正是因此，才使得音响界有人说输出管使用场效应管有“胆”味，至于这“胆”味是什么？我想应该是放大器的失真吧。

前级电路

前级运放选择了AD797，参考了很多电路，发现唯有hifidiy论坛小甲的前级电路比较合适，见图7。我并没有进行修改，PCB的设计也参考hifidiy论坛小甲前级的PCB，自己对布局进行了适当的调整，我把电源电路放在了PCB中间，左边一个声道，右边一个声道，但最后发现布线上存在一定的缺陷，还是把电源放在了最左边，然后是两个运放电路，电路中也使用了经典的一点接地。前级电路有三端稳压，由于并联的电容是容性负载，三端稳压相当于一个负反馈放大电路，容量过大可能会在某一频率段产生自激，就达不到稳压的目的了。这里没有盲目的使用大电容，而是使用完全够用的10μF容量（见图8）。我一直比较忌讳使用二手器件，总感觉它的性能稳定性绝对不如全新的，拆机的从不考虑，但这次制作我转变了想法，其中AD797采用的是拆机品，不过没有让我失望。

电源滤波器

曾看过很多书籍，有说过关于功放电源使用滤波器的一些文章，一般在CD或前级中使用，功放中似乎用的很少，我国的天逸功放就使用了电源滤波器，一般都是由X电容、电感线圈、Y电容组成。我不赞同有人说功放使用电源滤波器声音就软了，它只不过是滤除一些杂波信号而已，我的滤波器使用了两个电容和两个线圈。由于电源滤波器元件极少，我想用万用板制作就算了，后来决定还是做了印制电路板。当然，在电源滤波板上我加了保险管和压敏电阻用来保护。

保护部分

保护电路是功放不可缺少的一部分。功放不能完全避免特殊情况的发生，尤其是不能损坏那昂贵的音箱。最有效的办法就是断开电路起到保护的作用，使用保险管是一种简单可靠的方法，我分别在变压器一次绕组加置过压保护电路，整流滤波电路后加置保险管。在功放电路中加置钳位二极管（所谓钳位二极管，是指在信号输出端与正、负电源之间串联两个功率二极管），其具体作用是：因为动圈扬声器在某些频率范围内呈现电感阻抗特点，而感性负载在电流快速变化时会产生瞬间高压，这个电压往往高于电源电压，

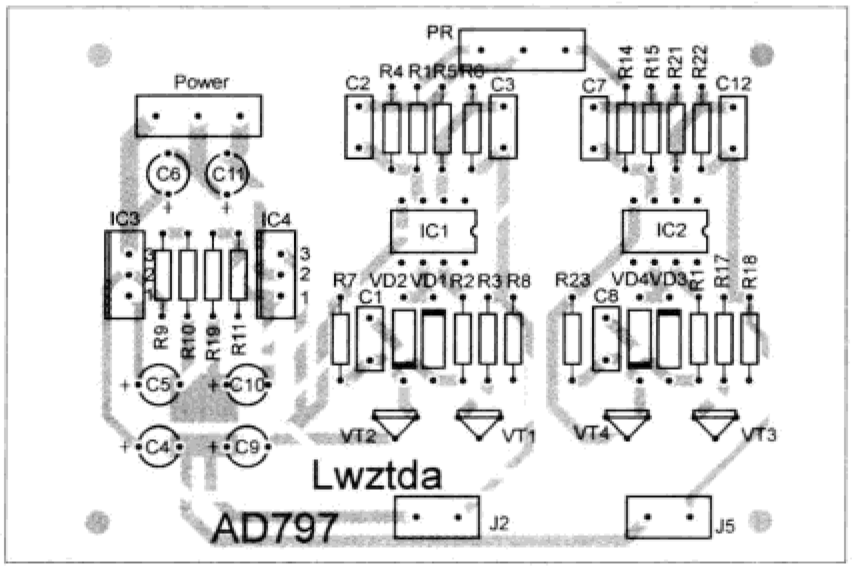


图8

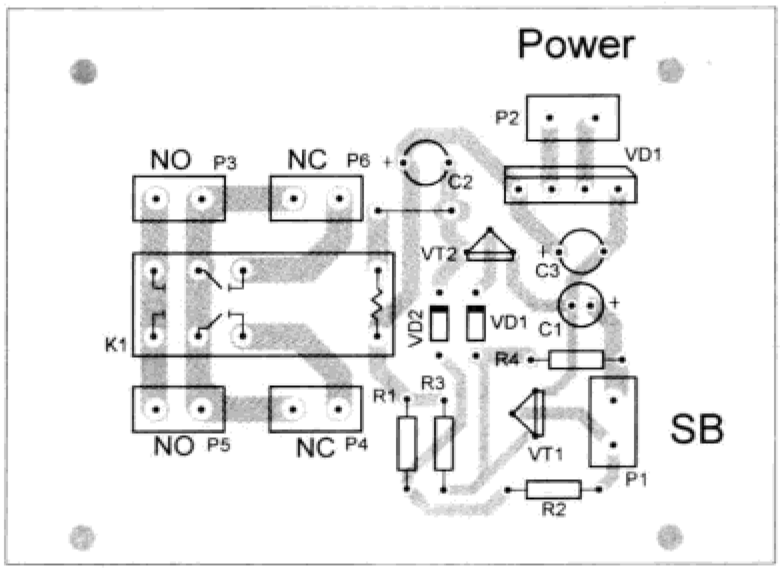


图10

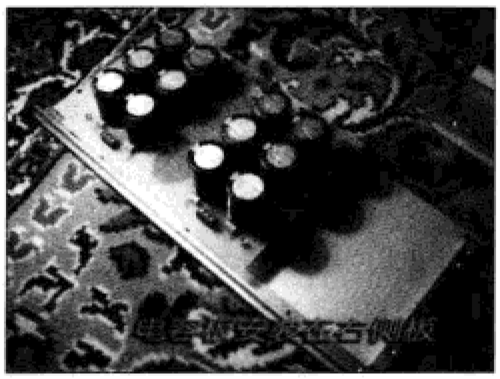


图9

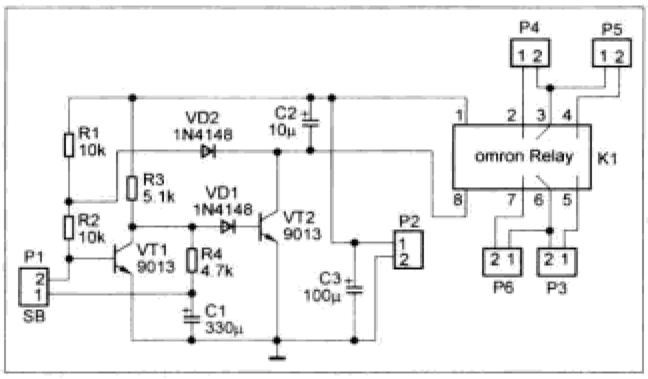


图11

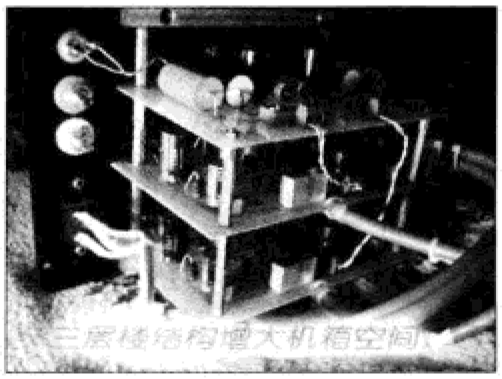


图12

使电路受到威胁。在接入功率二极管以后可以钳制这个高压，往往选用耐压高于200V/3A以上的二极管即可。

滤波电路

滤波电路是整个电路电流最大的部分，其走线的宽度也应该最宽或者在铜箔上镀锡，以适应大电流。一般来说优质焊锡的含铅量是40%，含锡量60%（有铅锡），其焊锡的电阻是铜的6倍。所以不要完全依靠增加焊锡厚度来提高过电流的能力，尽量布宽还是比较保险的。整个电路使用12只10 000μF/50V的rubycon电容滤波，每个声道采用6个电容滤波，以保证电流的供应，rubycon电容的特点就是寿命长，知名度较高，价格合理。同时，它也在很多工业设备中和功放电路中使用较多，但假货也较多。往往假货印迹不清晰，黑色的外皮不够光亮，有很多细小的磨痕，品质也无法保证。实测容量都在9 400μF±10μF，漏电极小，为了使左、右滤波容量尽量平衡，我对每个电容进行测试，大容量小容量相互弥补，使之正、负电源尽量平衡。测试好的电容因为带了电，而我不喜欢带电焊接大容量的电容，有时可能造成短路损坏PCB，恰好是晚上了，我把每个电容上并一个10kΩ的电阻放电，放一晚上第二天再焊接（见图9）。

电源开关电路

机箱面板上备有开关孔，且开关带灯，非常漂亮，但是个轻触开关，需加上自锁电路才能使用。这里使用分离元件构成轻触电子开关，它的实质是利用电容充放电原理构成的双稳态触发开关，也采用了自制的 PCB（见图10，电路见图11）。开机自锁电路最后考虑单独供电，平时只有机内的5W自锁电路及它的变压器工作，按下开关后自锁启动，接通主变压器，给放大电路送电，扬声器保护电路延时闭合，即可工作。使用完毕后，按下自锁开关，自锁开关断开，即断开主变压器。也就是说开机自锁电路是一直工作的。

整个放大板采用了“三层楼”的结构，可以有效地利用机箱内的空间。一层和二层是放大板，三层是输入耦合选择板，每层间有铜柱支撑（见图12）。

进行总装

到了最后一步，将变压器二次绕组接在整流滤波板上，通电测试输出电压正常，每个声道电路板进行通电测试，调节静态，一切就绪后进行机内理线，检查各个工作点电压。至于组装的细节这里不再详述。完成后可以开声了，试听使用的是1996年奇声6.5英寸书架箱，音源由电脑提供，经过MINI USB DAC输出给功放机，试听邓丽君的《又见炊烟》，整体表现可以说很中性。整个电路使用样板放大电路，最后的效果还是不错的。最后嘱咐大家：理智发烧，不要盲目追求完美，知识即学即用，心态决定一切。

玩转老功放之纵向比较篇（下）

◎梓门

3. Pioneer SA-1520的后级电路

OCL（Output Condensert Less，无输出电容电路）一面世就迅速成为功放电路的主流形式，并且一直延续到今天，无论是分立元件还是IC，OCL算是武林中的“东方不败”了。

仅从功率放大电路的复杂程度来看，SA-1520的功放电路并不比之前介绍过的SONY TA-1150更复杂，虽然它的输出级是达林顿形式，但是TA-1150的输出级是双管并联，输出级的用管数量是一样的，相比之下，TA-1150的驱动管是TO-220形式，封装比较大，而 SA-1520驱动管是比TO-92封装略大一点的TO-92 MOD封装，要比TO-220小得多。

图13所示的后级电路横过来看，即来自前级的输入信号位于图纸的左侧，那么以图纸中部的“U”形粗线（总线）为界，左侧是功率放大电路，右侧是输出切换与保护电路。输出切换电路TA-1150也是有的，SA-1520比TA-1150复杂的地方是输出保护部分，输出端的继电器保护方式也是如今仍然很流行的，也是TA-1150所没有的，比TA-1150所用的氖管保护方式要灵敏得多。

以左声道为例，差分输入级由VT301、VT303构成，预放级为VT305，驱动级为VT307，直流偏置为VT309，输出级是分别由VT311与VT315、VT313与VT317构成的达林顿，C317为自举电容。

保护电路部分，过流保护的检测驱动管是VT401、VD401、VD407将正向与负向的交流电压信号变为直流信号；VT401之后电路的两个声道是共用的。过流保护信号和输出中点保护信号一同送往由VT403、VT404构成的双稳态触发器电路，这样的保护有自恢复特性，只要故障解除，电路会自动恢复到正常工作状态。如果电路存在上述故障，VT405导通就会使VT406不工作，功放输出端的继电器RY401释放，从而保护了与之相连的扬声器。

开机延时由R415和C408完成，在开机瞬间，C408两端的电压不能突变，VT405的基极相当于通过VD406接地，因此VT405处于正偏状态而导通，继电器不会吸合。因为R415的阻值很大，C408的充电需要大约5s的时间，C408充电完成后，VT405变为反偏状态而截止，VT406才会得到驱动电压而导通，使继电器吸合。

关机保护电路主要由稳压管VD405完成，这个电路也叫关机瞬断电路。继电器RY401的驱动管是VT406，VT406的基极驱动电路是来自CN3的+18V电源，这一路电源的滤波电容本来就不大，因为稳压管VD405的存在，+18V电压需要击穿VD405后才能加到VT406的基极，关机瞬间，+18V电源的电压迅速下降，VD405的稳压值为15V，一旦+18V电源的电压低于+15V，VD405就会脱离击穿状态，VT406就会失去驱动电压而关断，使RY401的触点断开，也就断开了功放与扬声器的连接，不至于使扬声器中发出令人不爽的冲击声。

输出切换电路与之前介绍过的TA-1150大致相同，这种电路在如今的功放电路中已经不多见了，耳机输出也是取自功放输出端，没有独立的耳放电路。

电流检测电阻也是常见的水泥电阻，稍有不同的，它属于电阻排，将两个电阻封装到一起了，与两个0.27Ω电阻并

表1 2SC3281/2SA1302及其兼容型号的主要技术规格（T_A=25℃，典型值，注明者注除外）

型号	电压规格 V_{CEO}	电流规格 I_C	放大能力 $h_{FE}1$	放大能力 $h_{FE}2$	特征频率 f_T	输出电容 C_{ob}	饱和压降 $V_{CE(sat)}$	制造商
2SC3280	160V	12A	55～160	74	30MHz	220pF	1.0V	TOSHIBA
2SA1301	-160V	-12A	55～160	80	30MHz	220pF	-0.9V	TOSHIBA
2SC3281	200V	15A	55～160	60	30MHz	270pF	1.0V	TOSHIBA
2SA1302	-200V	-15A	55～160	60	25MHz	470pF	-1.5V	TOSHIBA
2SC5200	230V	15A	55～160	60	30MHz	200pF	1.0V	TOSHIBA
2SA1943	-230V	-15A	55～160	60	30MHz	360pF	-1.5V	TOSHIBA
2SC3281	200V	15A	55～160	≥35	≥10MHz	不详	≤3.0V	Mospec
2SA1302	-200V	-15A	55～160	≥35	≥10MHz	不详	≤-3.0V	Mospec
2SC3281	200V	15A	55～160	不详	30MHz	不详	不详	Motorola
2SA1302	-200V	-15A	55～160	不详	30MHz	不详	不详	Motorola
2SC3281	200V	15A	55～160	≥50	30MHz	不详	≤3.0V	WSCCC
2SA1302	-200V	-15A	55～160	≥50	30MHz	不详	≤-3.0V	WSCCC
2SC5200	250V	17A	55～160	60	30MHz	200pF	0.4V	Fairchild
2SA1943	-250V	-15A	55～160	60	30MHz	360pF	-0.4V	Fairchild
2SC5200	230V	15A	55～120	60	30MHz	150pF	≤3.0V	ST

注：$h_{FE}1$：测试条件：NPN：V_{CE}=5V，I_C=1A，PNP：V_{CE}=-5V，I_C=-1A，h_{FE}分挡：R：55～110，O：80～160，
$h_{FE}2$：典型值，NPN：V_{CE}=5V，I_C=6～8A，PNP：V_{CE}=-5V，I_C=-6～-8A；f_T：测试条件：NPN：V_{CE}=5V，I_C=1A，PNP：V_{CE}=-5V，I_C=-1A，$V_{CE(sat)}$：测试条件：I_C=-8A，I_B=-0.8A，
WSCCC：Wing Shing Computer Components Co.,(H.K.)Ltd.，永盛计算机器件配件，其产品一般为OEM

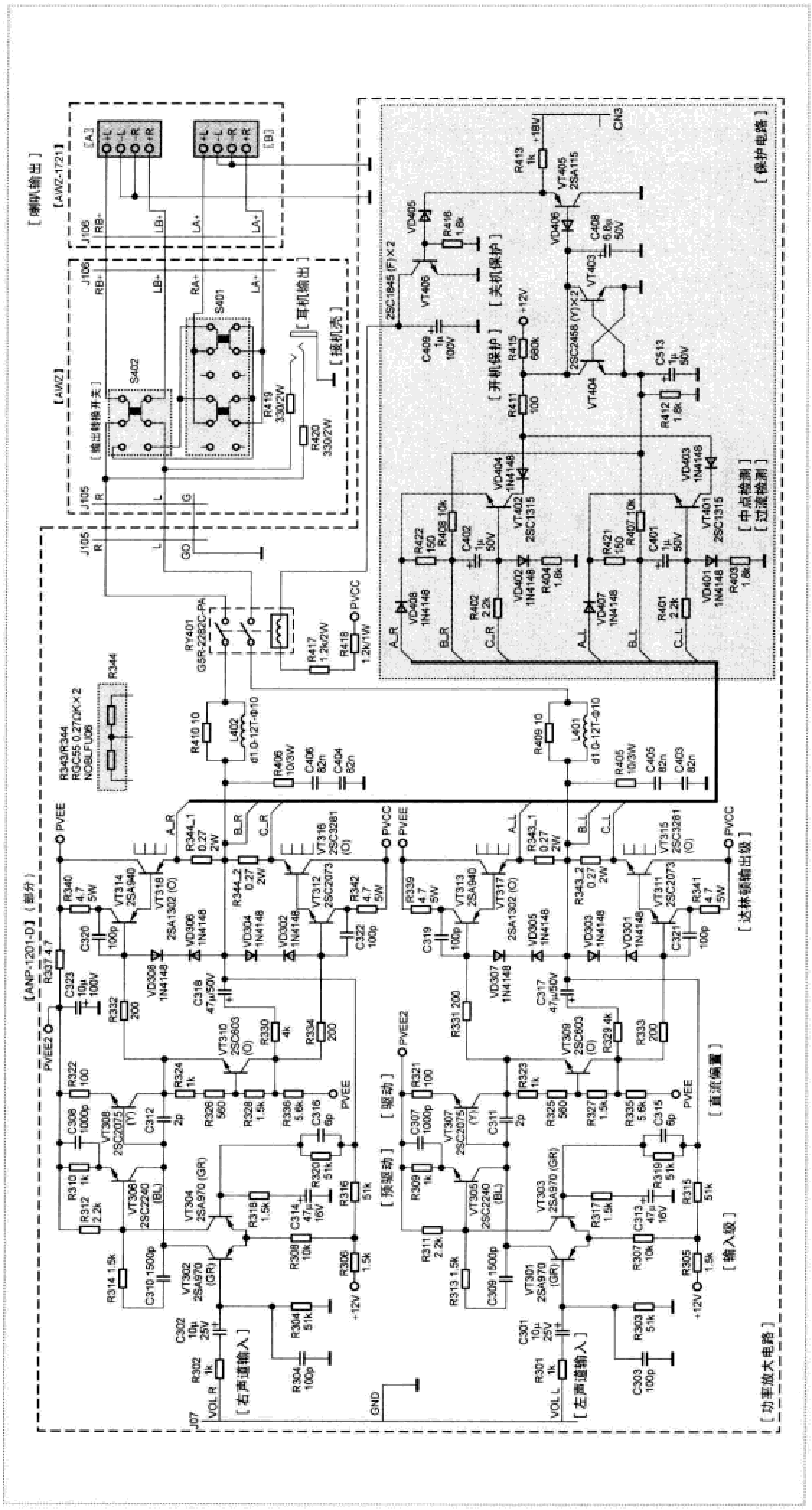


图13 Pioneer SA-1520的功率放大电路

无特别的不同。

与常见的OCL功放电路相比，SA-1520也有它的特别之处。

首先是差分输入级采用的是PNP极性的三极管，一般的OCL电路多采用NPN极性的，其次是供电，仍然是将图纸横过来看，输入信号位于图纸的左侧，图纸的上半部分的供电并不是常见的正电源PVCC，而是负电源PVEE，输入级采用PNP三极管也是与这种供电方法相配合的，这种供电方法实际上是“逆向接地”的变通应用。“逆向接地”的供电方法原本是在单电源供电的电路中的一种不常见的配置方法，用于高频放大电路可以将LC谐振电路的“冷端”（交流接地端）直接接地，提高电路的稳定性，在功率放大电路中可以将输出级的晶体管的散热片与散热器直接相连而无需绝缘，以减少接地的复杂性。这种配置方法在这里的好处主要是产生电压的激励级（预放级与推动级），可以采用特性一致性比较好的NPN管，差分输入级采用纹波比较低的稳压电源供电时，也可以采用性能比较容易保证的正极性稳压电源。

SA-1520的功放电路值得一提的还有输出级的晶体管，2SA1302与2SC3281，它是如今很知名的发烧对管2SC5200与2SA1943的前身，它的前身还有2SA3280与2SA1301。由于2SC5200与2SA1943受到了业内的广泛认可，不但其他公司生产了很多同型号的兼容产品，也生产了很多不同型号的兼容产品，就连TOSHIBA（东芝）公司自己也推出了升级产品，型号的前缀改成了TCC和TCA。

不同功率管的音色之所以不同，主要的影响因素实际上并不是功率管本身，而是整个后级电路的设计与调整。从2SC3280/2SA1301到2SC5200/2SA1943，这对音响对管得到了业内的广泛认可，也就意味着它们得到了广泛的应用，是大量的电路应用实践成就了这一对功率管。不同制造商生产的兼容型号并不仅仅是型号

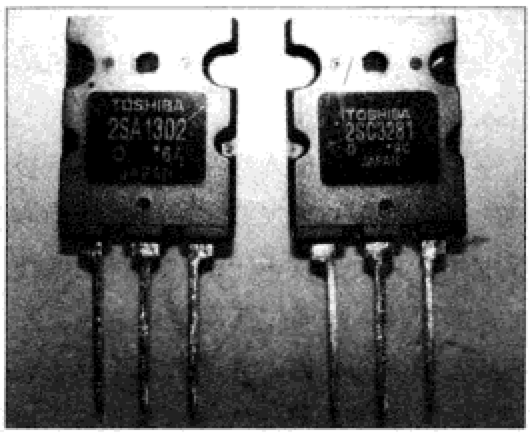


图14 2SC3281/2SA1302的实物照片

的相同与不同，深层次的因素是不同的制造工艺，因此兼容型号本身并不一定不好，事实恰恰相反，制造工艺的进步有可能使这些兼容型号的素质更好，它们欠缺的是大量的电路实践。

表1列出了上述功率晶体管的主要技术参数，不难发现，单从技术参数来看，差别并不明显。

2SC3281/2SA1302及其兼容型号的封装形式，不同制造商的产品只是在外形上的细部略有差别，图14所示为东芝的产品。图中封装形式的名称，东芝公司称之为2-21F1A，Motorola称之为CASE 340G-01，国际通行的名称有TO-3PBL和TO-264。

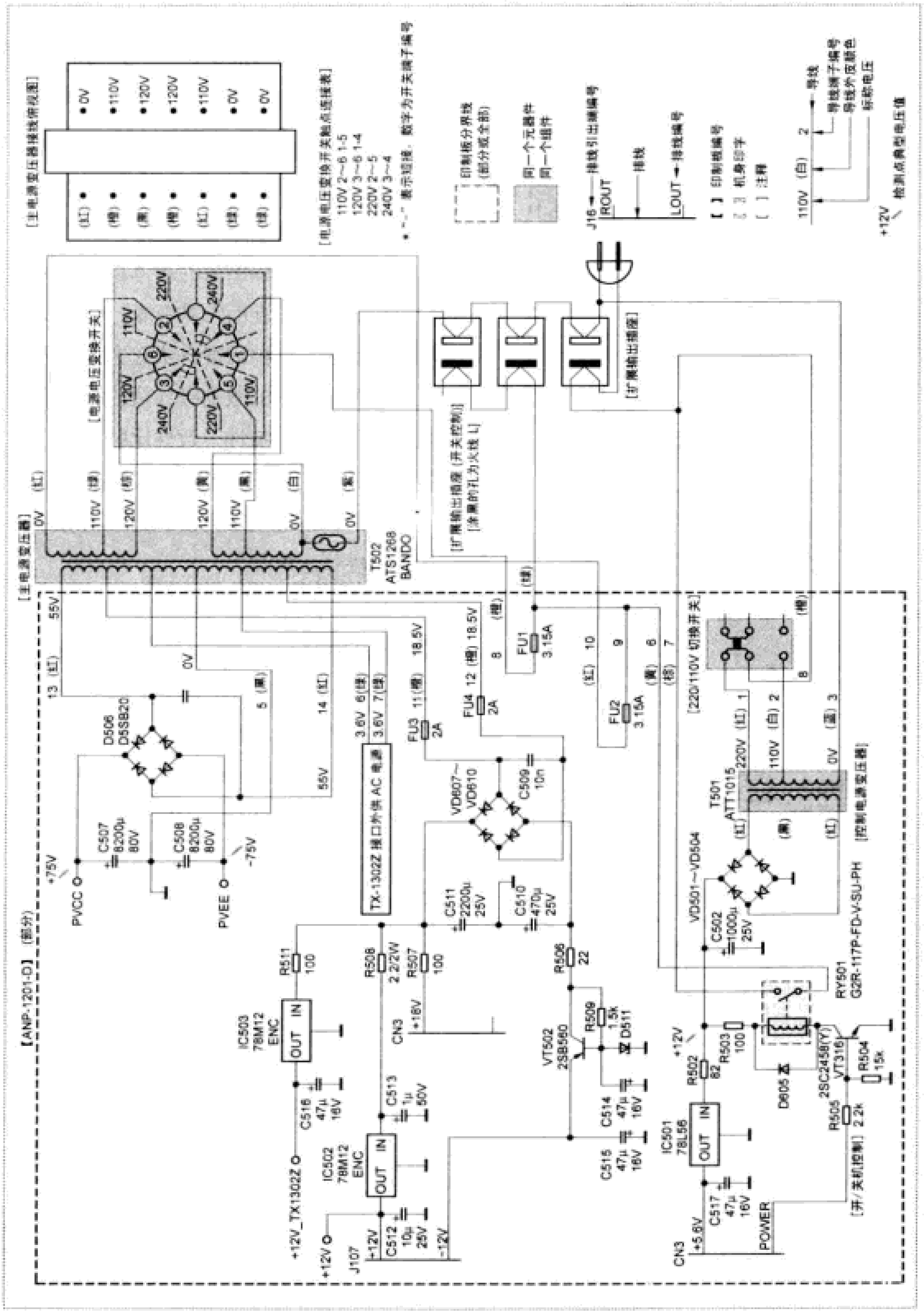


图15 Pioneer SA-1520的电源电路原理图

4. Pioneer SA-1520的电源电路

Pioneer SA-1520的电源电路（图15）虽然有两个电源变压器，但是电路并不太复杂。

控制电源变压器T501与市电之间没有电源开关，它除了给控制主电源变压器T502供电的继电器RY501供电，还同时给单片机供电。

主电源变压器给本机提供两路对称电源，一路给功率放大电路，同时给输出保护继电器 RY402 供电，一路给本机的前级供电，也给功率放大电路的输入级提供稳压的偏置电源，还有一路外部输出。同时，主电源变压器的第三路供电是给 TX-1302Z 专用接口的，老式的收音头需要一组交流电源给真空荧光管显示屏供电，同时部分机型的时钟也需要市电频率为基准。

稳压电源部分主要采用了三端稳压器，其中的78L56比较少见，它是输出电压为5.6V的三端稳压器。-12V电源采用了分立元件，是典型的串联稳压电路。

主电源变压器给功放电路提供的电源电压是比较高的，整流滤波以后达到了±75V。虽然对于OCL电路的末级功率管而言，它的电压等级比电源电压高一倍就可以满足要求，电压等级为200V的2SC3281/2SA1302采用±75V的工作电压并不算过分，不过在实际应用中，电压等级为230V的2SC5200/2SA1943所采用的工作电压一般都在±50V以下。比较高的工作电压对提高功率输出能力有利，尤其是对于比较高的负载阻抗更是如此。早期的扬声器的阻抗规格，12Ω、16Ω的并不少见，更高阻抗的扬声器产品也不罕见，不像现在，8Ω阻抗的扬声器几乎已

经是我们所能见到的最高阻抗的民用扬声器了。

阻抗高的扬声器对瞬态特性（速度感）有利，阻抗低的扬声器则对动态（低音力度）有利，低音扬声器采用低阻抗有利，高音扬声器采用高阻抗有利，全音域扬声器不宜采用太低的阻抗。

电源电路让人觉得有些眼花缭乱的是市电电压规格切换电路。世界上的商用电源电压有多种规格并存，主要的差别是电压规格和频率，对于音响产品，除了一些老款机器上的时钟是以市电频率为基准的，频率会影响到时钟的走时精度，除此以外，受影响的只是电压规格。

我国是220V/50Hz，日本是100V/50Hz，美国与北美是120V/60Hz，欧洲以220V/60Hz居多，我国台湾地区则是110V/60Hz，也有一些国家和地区采用240V的电压规格。就前级而言，因为多数采用稳压电源，100V、110V、120V大多可以通用，功放供电大多也可以同时用100V、110V供电，所影响的是功放的功率输出能力指标，对其他指标的影响很小。

因此很多二手日系产品在国内售卖时，大多标称为110V而不是100V。推而广之，220V规格的机器用100V供电也是可以的，反之则不行。对于工频变压器供电的电源如此，开关电源也是如此，除非是专门针对宽范围供电设计的开关电源。

图15所示的市电切换开关，控制电源变压器的切换只有2挡，采用了双刀双掷开关，只是用了其中一组，比较容易理解。主电源变压器的切换开关有4挡，这是为了保证功放的输出功率指标基本不变的做法。这种旋转式切换开关在老式机器上还是比较常见的，也有多头插座式的，将插头拔下来旋转一个角度再插上去，原理与此相同，可以理解为一个双刀多掷开关。240V、220V电压规格的切换，图15中的主电源变压器的两个初级绕组是串联关系，100V、110V、120V电压规格，两个初级绕组是并联关系。主电源变压器的0V初级绕组端子两个，两个端子之间串接有温度保险丝，现在常见的黑色或者绿色外观的NTC（Negative Temperature Coefficient 负温度系数热敏电阻），除了保护初级绕组不至于因为电流过大而烧毁，也能够有效减小开机时的瞬间冲击电流。

5. 单片机与其他

Pioneer SA-1520的所用单片机是专用的，型号为PDG025-A，目前所知，只见于Pioneer 自家的SA-1510、SA-1520、SA-1530、SA-1290有应用，不过以PDG为前缀的单片机在Pioneer产品中的应用还是比较常见。有资料表明这个系列的单片机是日本SANYO的产品，但是佐证信息比较少。图16所示的是根据SA-1520的印制板上的标识及其外围电路推测的引脚定义，它在印制板上的序号是IC501。

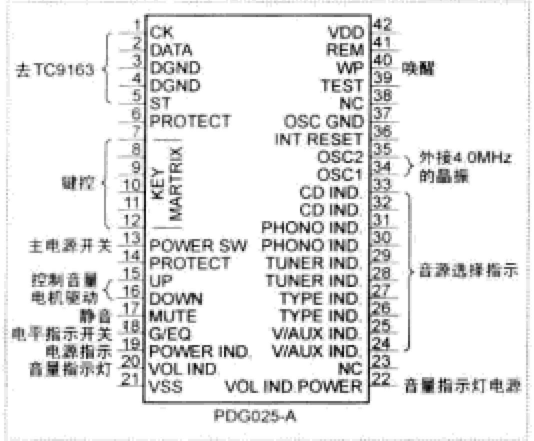


图16 PDG025-A的引脚功能定义

除了表1所示，SA-1520上所用其他双极型三极管的主要技术规格如表2所示。表3所示的是SA-1520的官方技术规格。

表2 SONY TA-1150所用晶体三极管的主要技术规格

型号	电压规格 V_{CEO}	电流规格 I_C	功率规格 P_C	放大能力 h_{FE}	特征频率 f_T	封装	制造商	备注
2SA115	-34V	-10mA	80mW	60	30MHz	TO-92S	Fuji	BRT
2SA940	-150V	-1.5A	1.5W	40～140	4MHz	TO-220	TOSHIBA	2SC2073
2SA970	-120V	-100mA	300mW	200～700	100MHz	TO-92	TOSHIBA	2SC2240
2SA1515S	-40V	-1A	300mW	120～390	150MHz	SC-72	ROHM	
2SB560	-100V	-700mA	900 mW	60～560	100MHz	SC-51	SANYO	2SD438
2SC1315	35V	500mA	4W	不详	150MHz	SC-72	Mitsubishi	
2SC1740	60V	150mA	300mW	120～390	180MHz	SC-72	ROHM	2SA933
2SC1845	120V	50mA	500mW	200～1200	110MHz	TO-92	NEC	
2SC2073	150V	1.5A	1.5W	40～140	4MHz	TO-220	TOSHIBA	2SA940
2SC2240	120V	100mA	300mW	200～700	100MHz	TO-92	TOSHIBA	
2SC2458	50V	150mA	200mW	70～700	80MHz	SC-72	TOSHIBA	2SA1048
2SC2705	150V	50mA	800mW	80～240	200MHz	SC-51	TOSHIBA	2SA1145
2SC603	70V	50mA	200mW	100	70MHz	SC-51	NEC	

注：封装：SC-51＝TO-92MOD，SC-72＝TO-92S，制造商：Fuji（富士通）、Mitsubishi（三菱），备注：BRT：偏置晶体管，集成偏置电阻的晶体管，其余为官方推荐的互补管型号

表3 SA-1520的技术规格（摘译自Pioneer官方公开的用户手册）

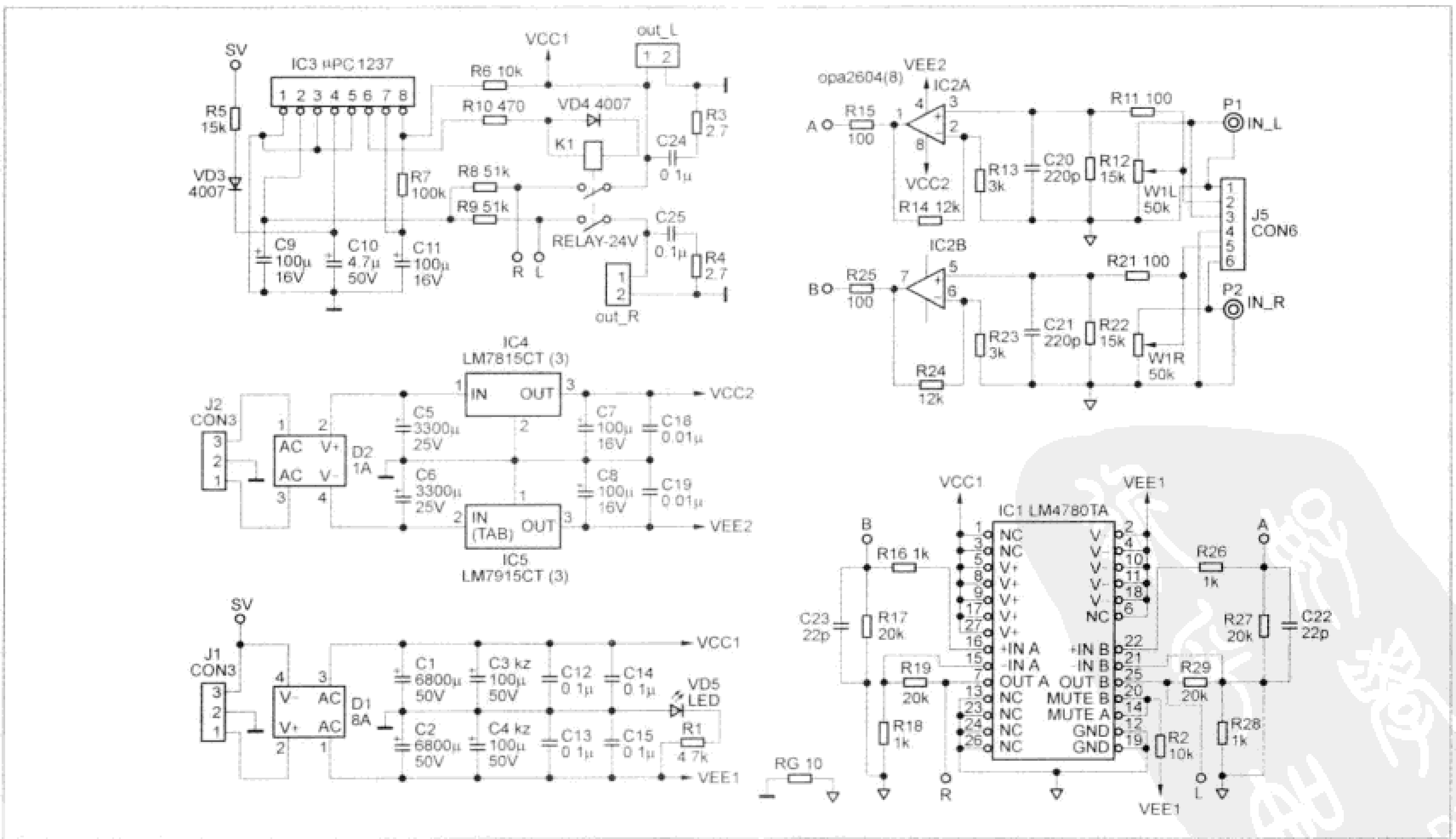
技术参数名称与项目		技术规格	基本技术条件与备注
额定输出功率 *PO*（W）	音乐功率	350×2	*RL*＝8Ω，THD＝10%
	峰值功率	1400	两个声道功率输出能力的总和
	RMS功率	130×2	*RL*＝8Ω，THD＜0.05%，20Hz～20kHz
THD（总谐波失真）		＜0.05%	20Hz～20kHz，*PO*＝130W
输入灵敏度	唱机	2.5mV	输出阻抗：50kΩ
	其他	150mV	输出阻抗：50kΩ
前级输出电平		150mV	输出阻抗：2.2kΩ
SNR（信噪比）	唱机输入	72dB	20Hz～20kHz，北美版与军品版
	其他输入	96dB	
	唱机输入	66dB	20Hz～20kHz，其他版本
	其他输入	92dB	
频率响应允差	唱机输入	±1dB	20Hz～20kHz，北美版与军品版
		±2dB	20Hz～20kHz，其他版本
	其他输入	±3dB	20Hz～20kHz
图示均衡器控制范围		±8dB	唱机输入
电源消耗	北美版	480W / 620VA	
	其他版本	690W	
外形尺寸（mm）		420×170×336	宽×高×深
净重（kg）		9.1	

◎方梁

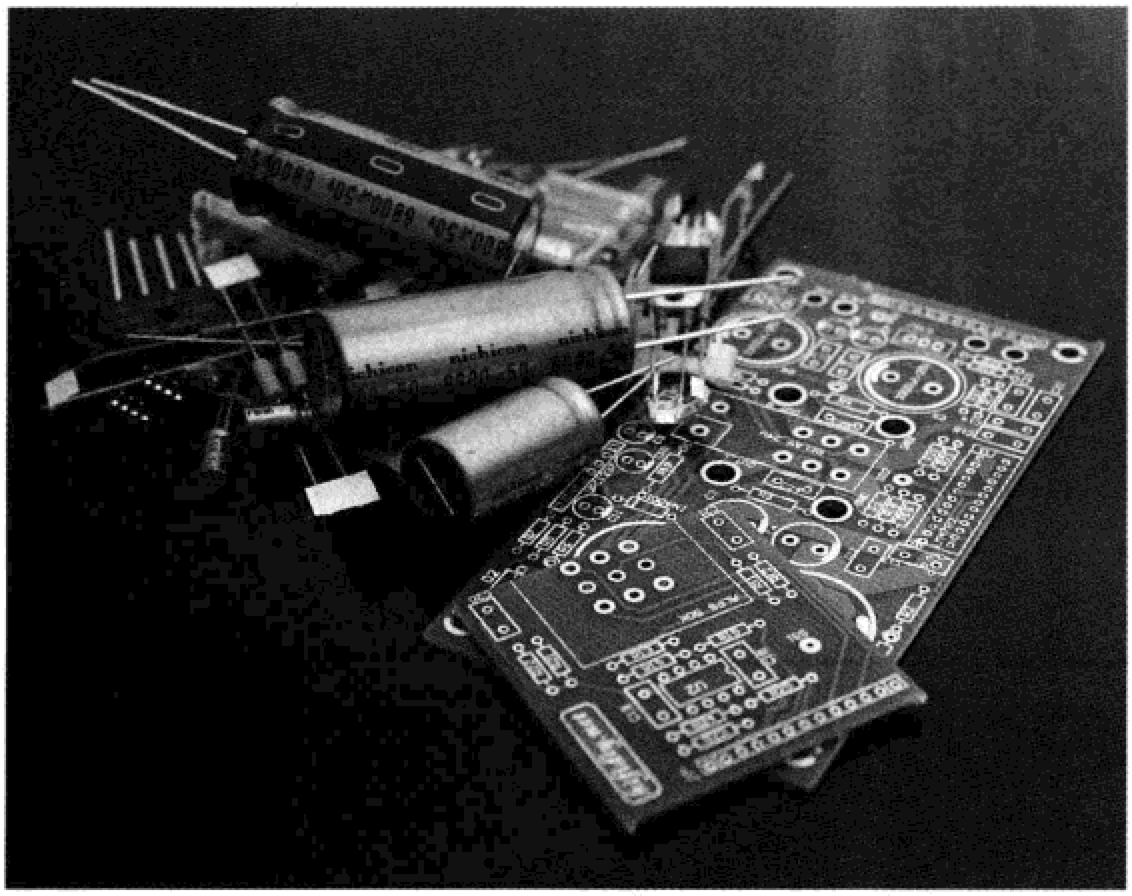
精品套件制作全过程
X-60功放

套件特点：

X-60功放套件精密而复杂，所以您在安装的时候请一定要仔细观看我们下面图文并茂的说明！本功放使用的是美国国家半导体的芯片LM4780。该芯片是一款立体声音频放大器，可以为每一声道提供平均高达60W的输出功率。在20Hz ~20kHz的频率范围内其总谐波失真及噪音（THD+N）都不超过0.5%。

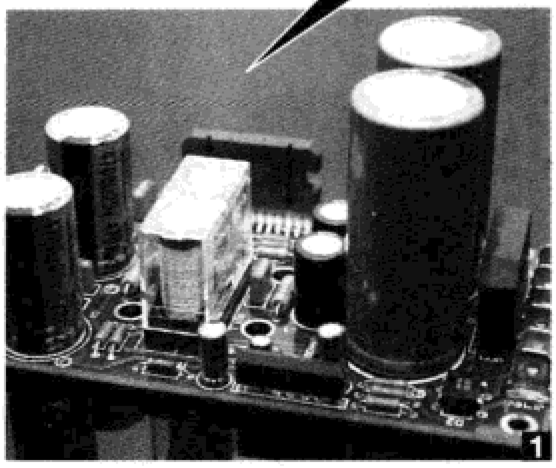


X-60功放电路原理图

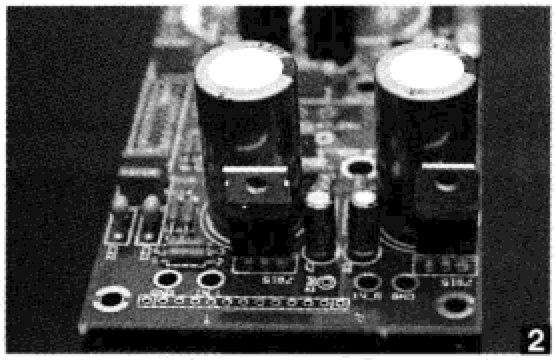


套件全家福

请装机的朋友特别注意



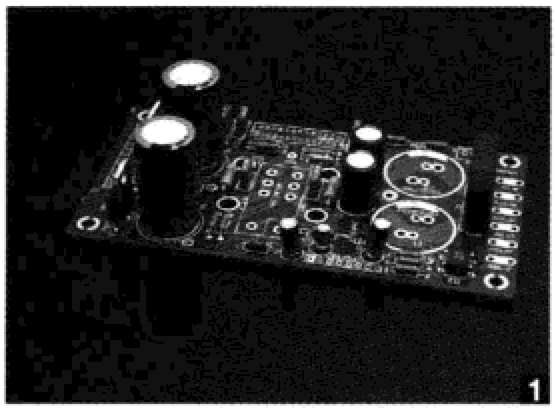
此处焊接时一定要注意FC1237方向



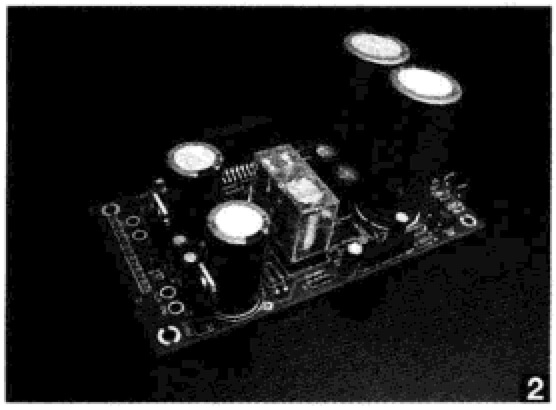
注意LM7815和LM7915不要焊反了

开始焊接

功放板的焊接

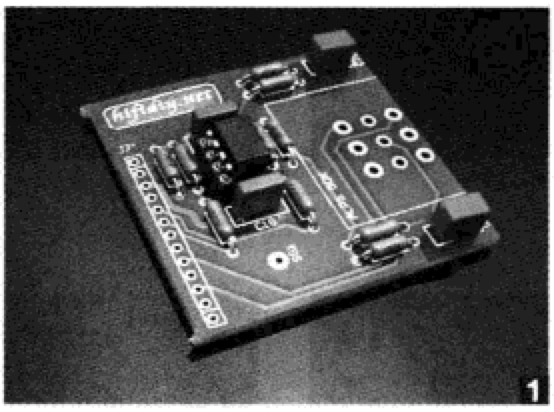


从小到大按照顺序焊接，这点一定要记住

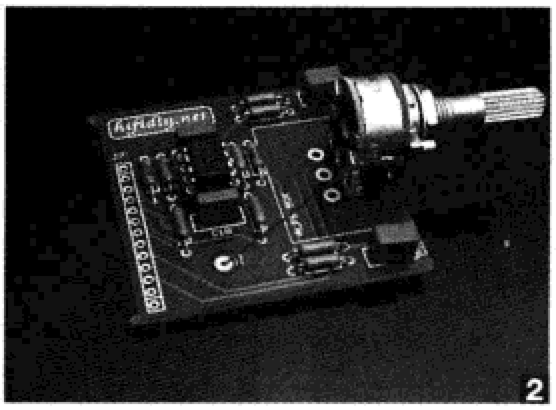


在焊接过程时，注意电容的正、负极，保证焊接正确！

小板的焊接

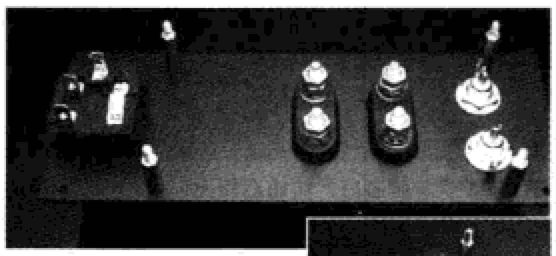


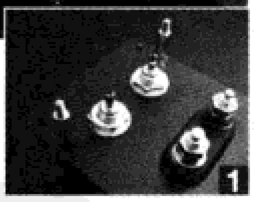
焊接顺序还是从小到大



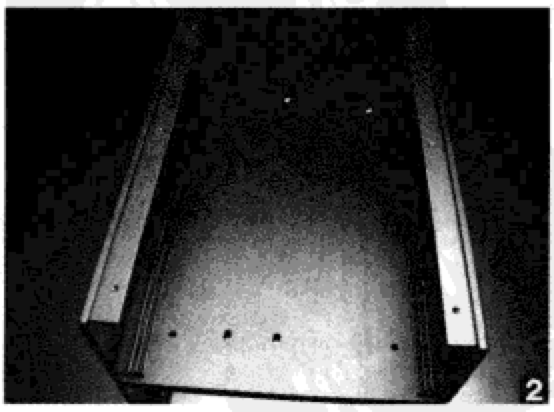
注意板上有个接地点，一定焊接到电位器上！

安装机箱和机箱后板



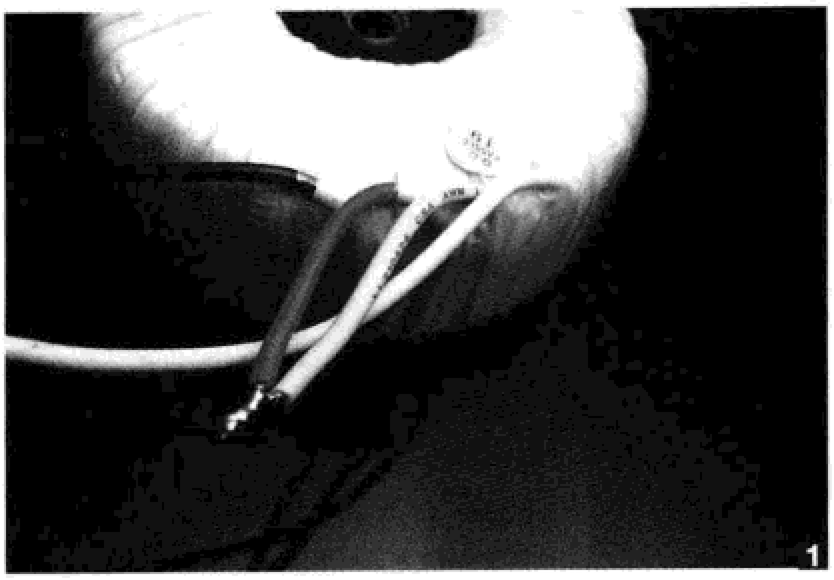


按照接口对应安装，由于RCA长度不够，要在RCA上焊接连接到PCB上的短线，可以用剪下的电阻脚充当导线

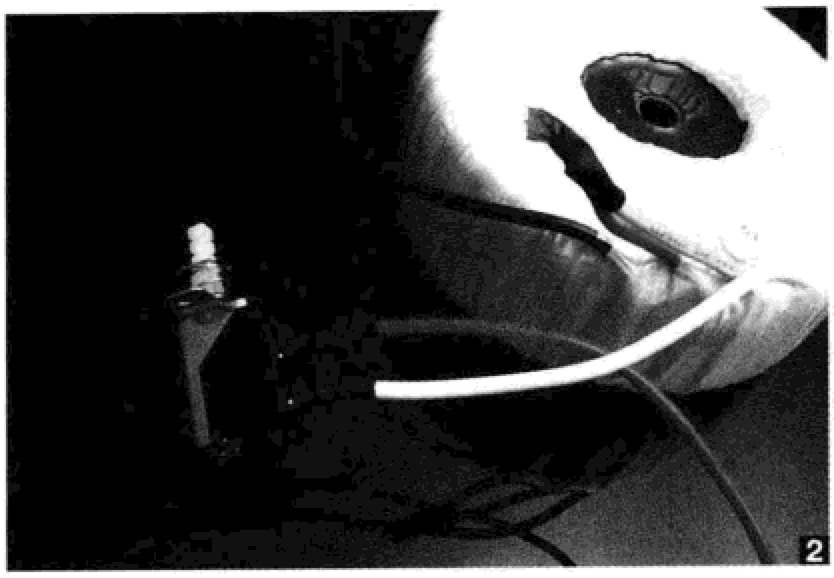


安装机箱

变压器的安装

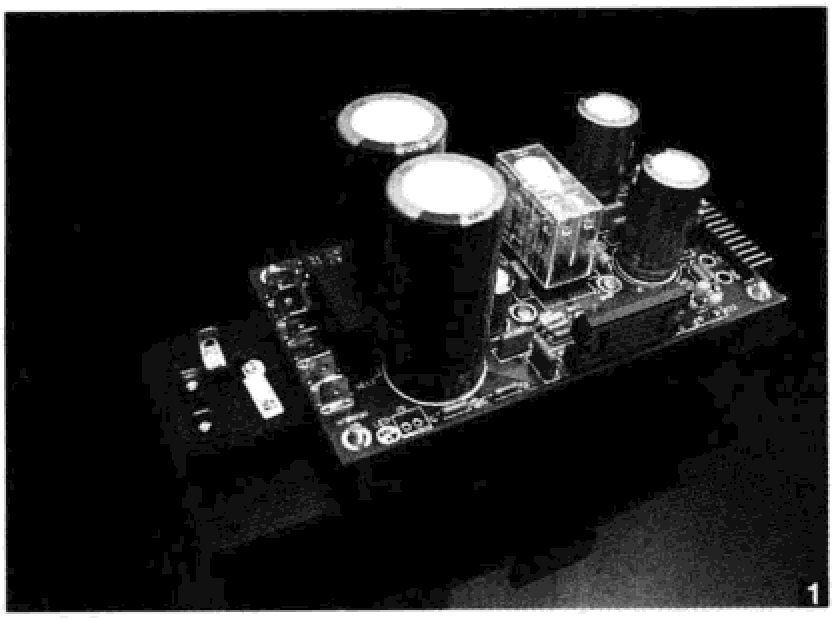


如果使用220V，中间两根线要短路！



把电源线焊接到开关上

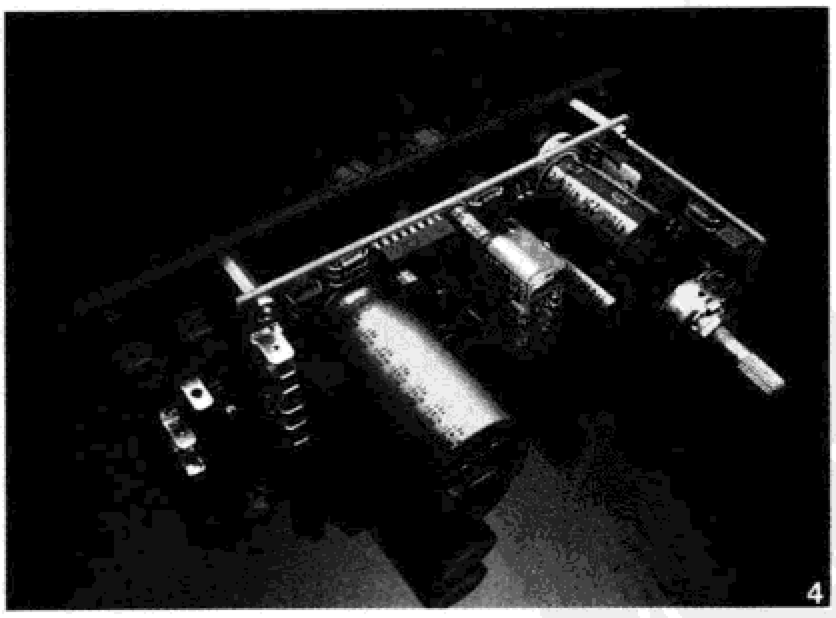
安装整机



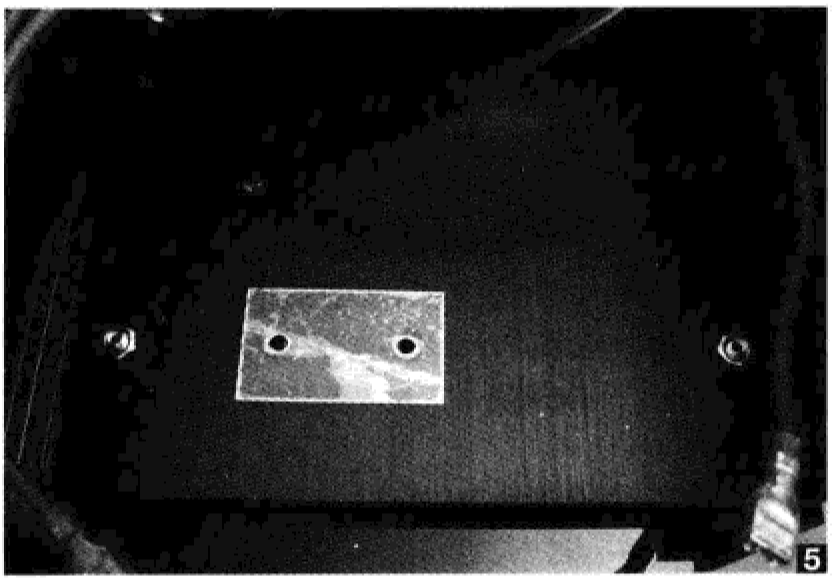
把功放板安装到装好的机箱后板上

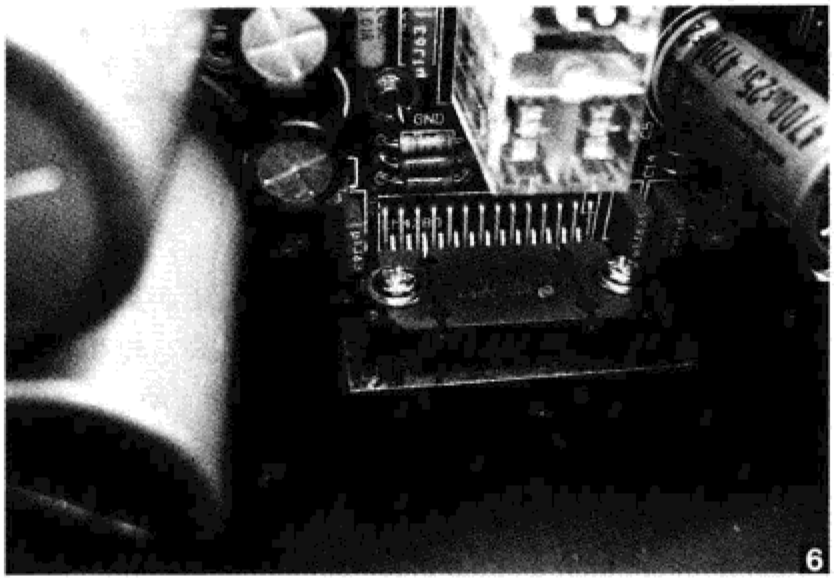
把小板子安装到功放板上，不要进行焊接

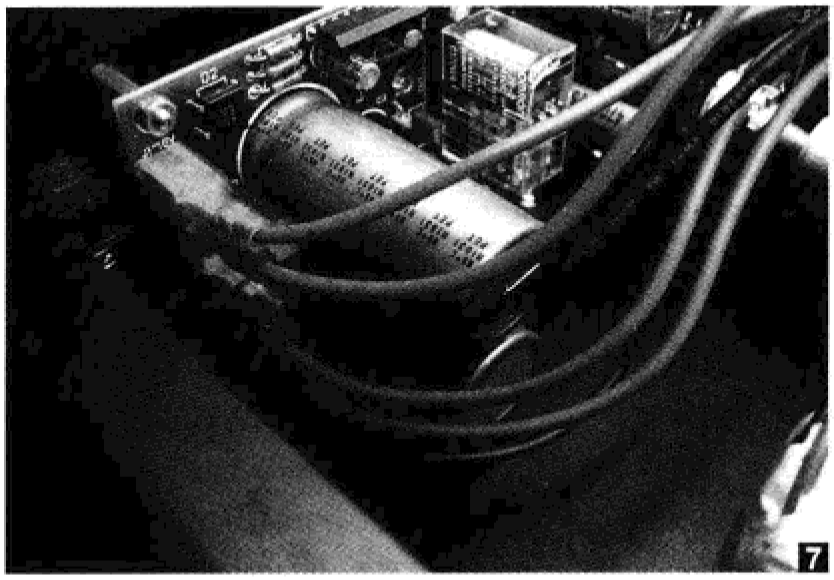
这一步非常重要,一定要让连杆配合好后再焊接电位器PCB,也可以让右边侧板不安装,焊接完成后再上板

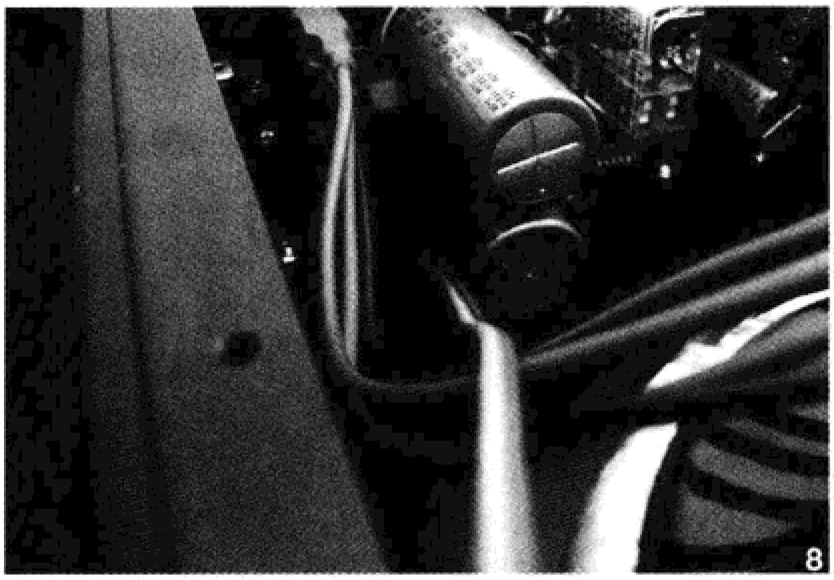


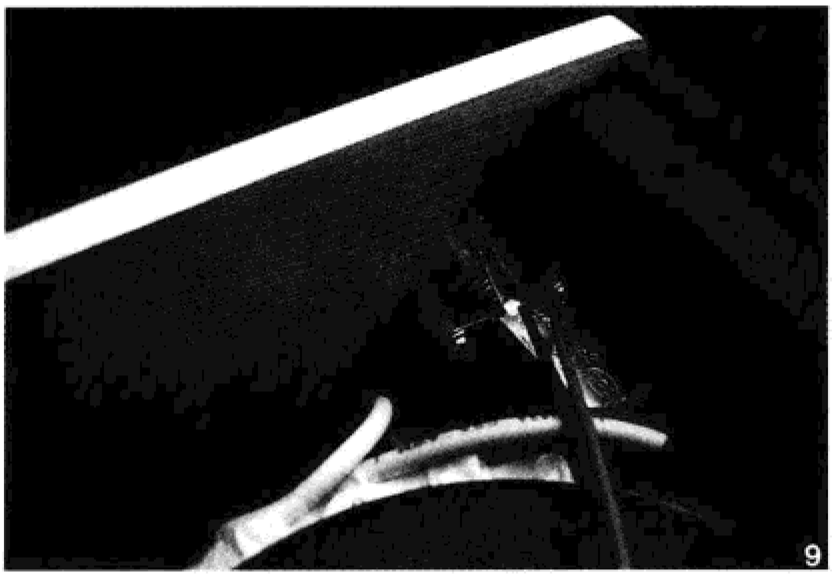
焊接完成！


本处一定请安装绝缘垫片，保证LM4780的金属部分不能和壳底连接!


先上好机箱后板螺丝，再固定LM4780的螺丝


请一定参考变压器线和PCB上的卡线座安装情况!


安装电源灯，记住灰的这边是+


焊接好后，用我们送的热缩管和热融胶固定

安装好的功放内部

套件销售

套件价格：780元 /套+30元邮费

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座 《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明X-60功放套件和汇款人电话。2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

从低音炮功放板改全频说起

◎梓门

现在比较容易买到的物美价廉的低音炮功放板，基本是大口径扬声器(6.5英寸以上)的有源重低音音箱中的功放板。这种功放板一般是单声道的，有的还有独立的电源电路和保护电路。此类功放板的功率输出能力一般都比较大，拿来稍作改动，就可以改成全频大功率功放板，而且也无需准备太多的元器件，还无需费时、费力地制作印制板和加工散热器，可谓是多快好省的实践途径，因此备受一些玩家的青睐。

选择低音炮功放板：首先是价格，太贵了不如放弃老功放不用；其次是选择大厂的板子，品质有保证；其三是优先选择分立元件的。本文以Kenwood(建伍) 某低音炮的功放板为敲门砖，来探讨这个问题。

这款功放板目前市场上有两个版本，以功率管来区分，一款是用TIP41C/TIP42C的（TO-220封装），即所谓的低版本，另一款是用2SC5200/2SA1943的（TO-3PL封装，与TO-3P一起俗称“大管”），即所谓的高版本。笔者拿到的是前者（见图1）。两个版本除了功率管不同，电路方面的差异很小，而且在低版本的电路板上，也有装大管的孔位，至于是否能直接代换，笔者未作实际验证。

不少玩家拿到的只是图1所示的一块板，实际上，完整的一套至少还应该包括两块小板（见图2），笔者拿到的就是这样。从电路推测，还应该包括LED指示灯组件。

电路原理

全部电路分成3个部分：信号通道、控制保护与电源电路、两块小板的电路。

1. 信号通道

信号通道包括两块小板以外的所有信号放大电路，大致可以分为重低音有源滤波电路和功率放大电路，如图3所示。

重低音有源滤波电路以IC401为核心构成。IC401是一块JFET（结型场效应管）输入级的四运放，JFET输入级有着非常高的输入阻抗，在此并无特别的必要，与常见的双极性晶体管输入级相比，反而可能会有更高的噪声，好在这个影响并不明显。

IC401中的4个运放，这里用了3个。IC401C是缓冲输入级，并不是加法器，CN301的两个输入端只是为了调整输入信号的相位而设（参考图4），同一时刻只有一路输入信号，两路输入信号分别输入IC401C的正相与反相输入端，因此两路输入信号对输出而言，相位是相反的。图2左侧所示的小板只是完成输入信号的相位转换，相位的调整是在此处实现的。

IC401C构成的缓冲输入级的电压增益约为24dB，C306、C307与图4右图的R303构成低通滤波器，拐点约为72Hz，即从72Hz起，输入的音频信号按照6dB/Oct（倍频程）的速率衰减。同时输入电容C305和R304构成高通滤波器，拐点为23Hz。换言之，IC401C是带通放大器，主要放大的是23～72Hz的音频信号。

不仅如此，在IC401C的反馈电路中，与反馈电阻R401并联的C402进一步限制了本级放大器的频带，因为电容对不同频率的信号的容抗不同，对高频信号的负反馈更多，就意味着对高频信号的放大就越少。

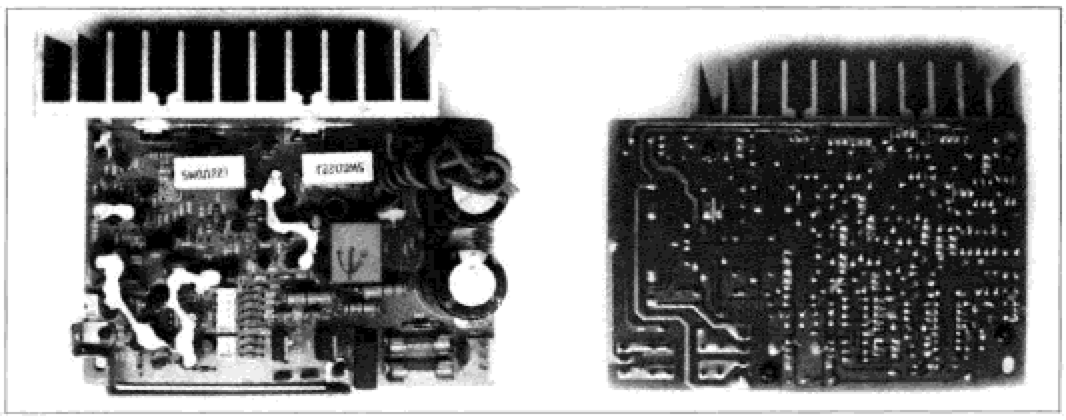


图1 低音炮功放板的实物

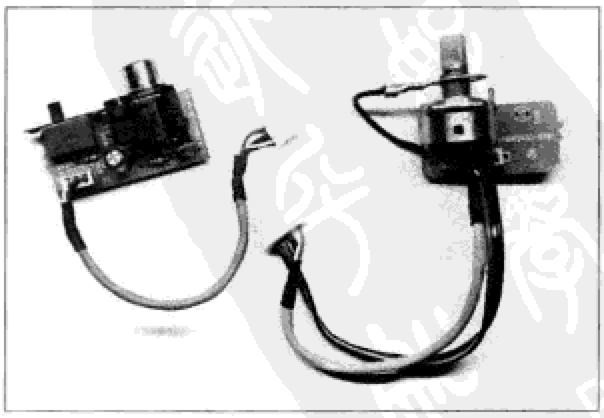


图2 低音炮功放板的附件实物

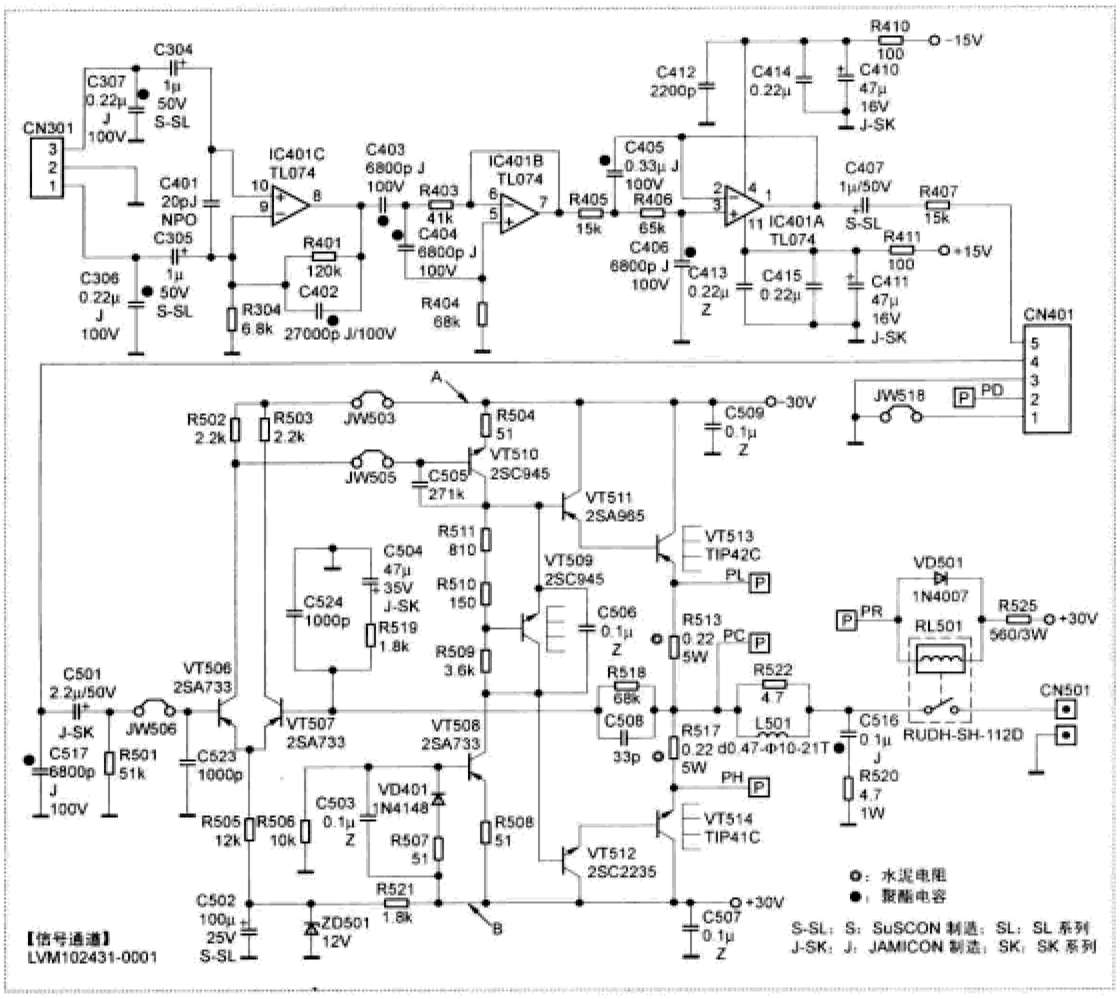


图3 信号通道的电路原理图

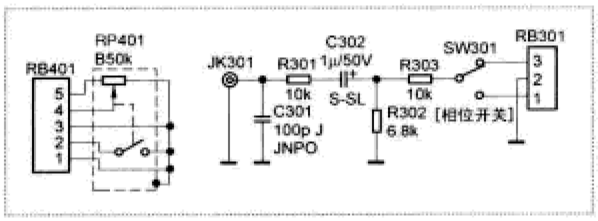


图4 低音炮功放板的附属电路原理图

以IC401B为中心构成有源高通滤波器，IC401A为有源低通滤波器，均为2阶的Linkwitz-Riley（林奎茨—瑞利）滤波器，衰减特性为12dB/Oct，两者串联构成了12dB/Oct的带通滤波器，计算所得的带通频域为45～340Hz。

要将这块板改为全频放大器，这部分电路可以舍去。如果想构造一个前级，这一部分也可以改为电压放大器。因为TL072不易找到，功率放大电路的增益也不低（约32dB），因此笔者用的是前一个方法。

从IC401A输出的信号送到CN401的5脚，经过图4左图所示的音量控制后，从CN401的4脚回到图3电路，进入功率放大电路，我们所应用的也正是这一部分的电路。

功率放大电路是典型的OCL（Output Condensert Less，无输出电容）形式，输出级实际上是双电源供电的互补半桥电路，即由NPN/PNP管构成输出级。两套OCL功放电路可以简单地组合为一套功率更大的功放电路，俗称“桥接”也是基于这个原因。

VT506、VT507为输入级，功放电路的电压增益主要来自这一级。VT506为正相输入，是功放电路输入音频信号的地方；VT507是反相输入，是负反馈信号输入的地方，反馈信号来自功放的输出端。

VT508、VT510为预放级，主要的作用是将功放的输入级与输出级进行隔离。

VT509是偏置级，目的是设定输出级的静态工作点（静态电流）并使之保持稳定，一般要求其温度尽量与功率管相同。因此即使采用的是小功率管，最好是将它和功率管固定在同一块散热器上，并且不要相距太远，最好与2个功率管的距离大致相同，本例即是如此。

VT511、VT512为推动级，目的是给输出级的功率管提供足够大的驱动电流。在一些大功率的电路中，也会采用中功率乃至大功率管。

VT513、VT514为功率管，两者构成了功放的输出级，功放的电流增益主要在这一级产生。总之，有了输入级的电压增益，有了这一级的电流增益，功放电路才有了功率输出能力。

2. 控制保护与电源电路

控制保护电路（见图5）的执行者是图3中的继电器RL501，图3中的R513/R517是电流检测电阻。保护功能包括输出中点直流电压、过流、开/关机噪声抑制，控制功能为硬待机（只是断开扬声器与功放电路的连接，功放电路的耗电与正常工作时的静态并无区别）。

图3中带框的英文字母P表示同一电路原理图的不同部分的引出线，旁边的字母是编号，如PL、PC等，在下文的说明时以“P_PL”的形式来标识，两部分电路原理图的标识是对应相同的，即图3与图5中的此类标识是对应相同的。

继电器是由VT501、VT502（见图5）构成的达林顿管来驱动，两者饱和导通，继电器得电吸合，接通功放输出端与扬声器。其他所有控制保护电路的最后执行都是靠拉低VT501的基极电位使之关断实现的。

所谓的中点直流电压，指的是在静态条件下，功放输出端（见图3）相对地而言的直流电压，应该为零，当然，这是理论上的，实际上会有毫伏级的电压。中点直流电位的偏移主要是由输入级或输出级晶体管的特性不一致造成的。在正常工作条件下，中点直流电位的偏移当然是越小越好，在±100mV以内一般也不会有什

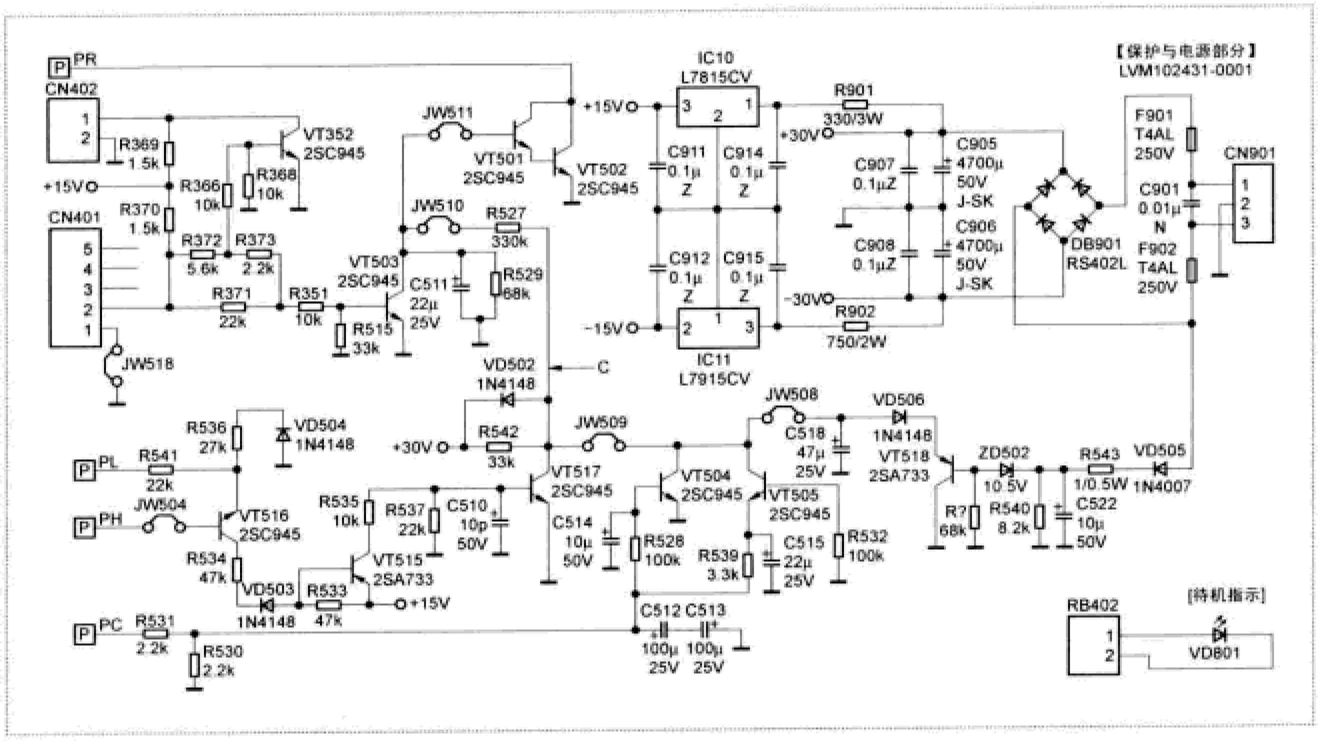


图5 控制保护与电源部分的电路原理图

么问题。但是不能太大，太大了就可能烧毁扬声器以及输出级的晶体管。因此，这是OCL电路的基本保护电路之一，但是不一定要用继电器来实现，只是继电器的保护更为简单可靠（对扬声器而言）。

中点直流电压偏移检测电路的形式不太常见。功放的输出信号（P_PC）经过R530、R531的限流分压后，由C512、C513串联而成的无极性电容进行平滑滤波，滤除正常的音频信号。当来自P_PC的信号中包含过高的直流电平时，如果这个异常电平相对于地是正向的，并且超过了1.4V（经过R530、R531的分压后就变成了0.7V），经R528加到VT504的基极，VT504就会饱和导通，将C点的电位拉低，从而使VT501关断。如果这个异常电平相对于地是负向的，并且超过了1.4V，VT505的发射极电位就会被拉低。当此电位被拉得足够低，VT505进而导通，同样会将C点的电位拉低，使VT501关断。C514、C515是抗冲击电容，防止大动态的音频信号引起保护电路的误动作。

图3中的R513、517不但是电流检测电阻，还兼有本级负反馈的作用，使输出级VT513、VT514的工作点更加稳定，同时也降低了功率管的配对精度要求。不足之处是电阻本身要消耗一定的能量。好在音频放大器的输出功率不是很大，在数千瓦或数十千瓦的放大器中，也可以通过检测功率管的导通压降进行过流保护，即导通状态下的集电极—发射极之间的压降，但是电路形式要复杂得多。

为了使过流保护电路易于理解，将这一部分电路的检测电路单独画成图6所示的样子。在这个电路中，导通的功率管被等效成了一个二极管。如果此时没有接入负载，电路处于正常工作状态，那么VT516就处于关断状态，正电源的电流通路为：+30V→VT514→R517→R513→VT513→-30V，如果电源是对称的，VT513、VT514的导通压降相同，电阻没有阻值误差，PC点的电压就应该是0V，负电源的通路为：VD504→R536→R541→VT513→-30V。

如果R513、517上的压降超过了1.4V（因为VT516的发射极电位是-0.7V），VT516就会饱和导通，图5中的VT515也会导通，接着是VT517导通，将C点的电位拉低，使VT501关断。

VD504为VT513的导通提供电流通路，R541为限流电阻。在空载时，即没有负载（扬声器）接入或者接入的负载是电容式扬声器时，这个通路是非常必要的，能够保证负电源的电流状态也能够被准确检测得到。因为VD504的存在，VT516的发射极电位被钳位到了稳定的-0.7V，过流检测就更为可靠。

如果VT516导通了，R533上的压降就足以让VT515导通，VD503起隔离作用，避免+30V电源向+15V电源倒灌。过流检测最终的执行管是VT517，R535和C510起延时削峰作用，避免功放大动态输出的峰值电压造成电路的误动作，延时时间约为100ms，即电流过流时间超过100ms时，过流电流才会起作用。

换言之，如果忽略输出级的静态电流，如果大动态音频信号的峰值电流超过3.2A，且维持时间超过了100ms，过流保护电路就会动作。

开/关机噪声抑制电路（见图5）以VT518为核心构成。

开机瞬间，通过CN901的3脚输入的交流电源，经过VD505整流、R543限流、C522滤波后，再经ZD502钳位，VT518基极电压被钳位在10.5V左右（10.5~21V）。几乎同时（因为R542、C518的延时作用，实际会延时0.5s左右），+30V电源通过电阻R542和隔离二极管加到VT518的发射极。当VT518的发射极电压升到11.2V以上时，VT518就会饱和导通，C点的电压会被钳位于18.8V（11.2~30V）。

在上述电路动作的同时，+30V电压也会通过R527和C511构成的RC延时电路加到VT501的基极，延时的时间约为3s。R529为VT501提供基极偏置，当VT501的基极电压上升至1.4V左右时，由VT501、

VT502构成的达林顿管就会饱和导通，继电器得电吸合。

关机瞬间，因为图5中的大电容C905、C906的存在，+30V电源的电压下降相对比较慢。而VT518的偏置电源本身就因为C522的容量比较小，通过R540的放电而下降很快，加之ZD502的存在，一旦这一路电源的电压下降至10.5V以下，VT518就会失去这一路偏置电源而变成自偏置状态，R?（印制板上看不清，以?替代）为VT518基极的偏置电阻。一旦VT518转为自偏置状态，就会将C点的电压钳位于1.4V左右，VT501的基极偏置电压就会跌至0.3V左右而不足以维持导通，继电器就会失电而释放，断开扬声器。

硬待机控制管是VT503，CN401的1、2脚相连才会使VT503的基极失去偏置而断开，否则就会导通使VT501失去偏置，继电器就不会吸合。

VT352是硬待机指示驱动管，当CN401的1、2脚没有相连时，VT352的基极获得偏置，接到CN402上的指示灯就会点亮。反之，指示灯就会熄灭。

电源电路没有需要特别说明的，±30V为功放电路供电，经过三端稳压器降压稳压后的±15V为IC401供电。

改全频

搞清楚了电路的基本原理，改全频也就能够做到有的放矢了。根据不同需要，由简到繁，有以下几种改动方法。

1. 基本方法

基本方法就是只将与重低音相关的电路去除，不改动电路的其他部分。

对照图3，要跨过有源滤波电路，需要去掉C304、C305、C306、C307、R407，用短路线将CN401的5脚和CN301的3脚或者1脚相连，这就是卖家一般说的，跨过有源滤波电路改全频的方法。

实际上，还需要去掉C517、C524，C523最好改为100pF左右，这一步看似简单，如果不改，这块电路板的声音就会非常闷，听感很差。

如果没有图2所示的小板（很多卖家都不提供），跨过有源滤波电路的方法就要改为：将CN401的4脚和CN301的3脚或者1脚相连，去掉音量控制功能，同时将CN401的1脚和2脚相连，去掉硬待机控制功能，或者外加一个开关进行控制。

如果利用图2所示的小板作为输入电路，更进一步的改进方法是，去掉小板上的R303，R302改为22kΩ以上，C302和SW301也可以短接掉。不过，这个改动无关紧要，在听感上并不容易听得出来。

2. 改善静态指标的简单方法

对于一般的应用，用基本方法的改动已经能够满足需要了，不过，底噪指标不是很理想，安静环境里，耳朵距离扬声器正前方1m远的位置，虽然听不到高频沙沙声，但是能听到低频“哼”声。

简单的改进方法是，断开图3中的A点和B点，分别串入RC滤波电路（图7），注意电解电容的极性。这种改进方法，电路简单，对抑制本底噪声有一定的效果，在一般的功放电路上也很常见，C001/C002的容量为100～200μF即可，加大容量对滤波效果改善不明显。

3. 用有源滤波电路改善静态指标

有源滤波电路用作电源滤波时也称为电子滤波器，这个方法在介绍SONY TA-1150D的电路时已经介绍过了，其中的有源滤波电路可以照搬。VT1的选型除了电压规格够用以外，并无特殊要求。同样是断开图3中的A、B两点，图8串接在断开的A点，B点则串入图7所示的正电源RC滤波电路。

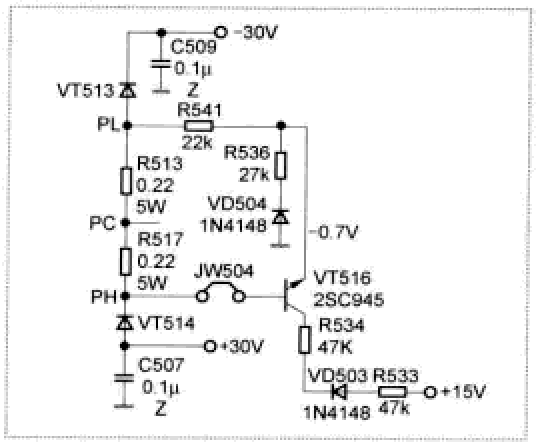


图6 过流检测部分的等效电路

经过这样的改进，在安静环境里，耳朵距离扬声器正前方0.3m远的位置，才能听到不明显的低频“哼”声。

为何只为负电源添加电子滤波电路，主要的原因是，对于输入级而言，负电源回路是发射极的偏置端，对于共发射极电路而言，发射极有反馈的作用，对纹波更为敏感。如果不嫌麻烦，正电源回路也可以接入电子滤波电路（见图9），只是在图8已有基础上改进的，图9的改进效果不太明显。

4. 中点直流偏移电压和工作点的调整

中点直流电压有少量偏移并不会影响电路的稳定工作，对听感的影响也不太容易让人察觉。如果器件选择合适，对于工业化生产而言，省去调整的环节，可以节省人工和少量物料成本。对于爱好者而言，进行适当的调整却是有益无害的。

电路的工作点指的是输出级晶体管的静态工作点，根据静态工作点的不同，通常我们将音频功放电路分成A、AB、B类电路，电路的效率依次提高，失真度指标和听感递减。现在风头正盛的D类则已经不单纯是工作点的问题了，工作状态也与上述电路不同了，前者工作于线性放大状态，D类则工作于开关状态。

重低音电路因为只是重放人耳并不敏感的重低音信号，并不放大人耳敏感的高频和最为敏感的中频，因此重低音电路通常会将工作点设在B类，这样能够很好地兼顾效率、成本、体积以及重放质量的要求，本例即是如此。对于全频重放而言，B类显然不合理，至少应该让电路工作于AB类，听感才会显得比较自然。

这块低音炮电路板，输出中点直流

偏移电压实测为76mV，R513上的压降小于1mV（笔者的万用表不够高级，精度只能到1mV），不难计算出静态电流会小于4mA，考虑到测量读数的误差偏大，可以视为工作于近似的B类状态。调整输出中点直流电压偏移的方法是调整图3中的R502。具体方法是用3kΩ左右的可调电阻或者电位器代替R502，预先调整到2.2kΩ位置。功放的输出不接扬声器，接入置于mV挡的万用表，黑表笔接地，红表笔接功放输出端。上电后，向输出中点电压降低的方向慢慢旋转可调电阻，降到零左右即可，不必强求一定要降低到零。

断电，万用表的接法不变，同时接上假负载或者不值钱的大功率扬声器，用50Hz信号（可以用小功率铁芯变压器从市电获得，幅度2V以内即可）或者大动态音乐信号，让功放板工作30分钟以上，不时观察中点直流偏移电压的变化（暂停输入信号），没有大的变动即可。

再次断电，拆下可调电阻，测量阻值，然后用阻值接近的固定电阻替换之。然后重复上述测试过程。

这块电路板，调整结果是：R502由2.2kΩ换成了1.41kΩ（1kΩ与410Ω串联），输出中点电压由76mV稳定到了8mV。工作点的调整方法是调整R511，测量静态电流的方法是测量R513上的电压降，也可以测量R517两端的电压降。

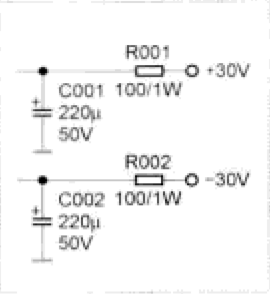


图7 简单的RC滤波电路

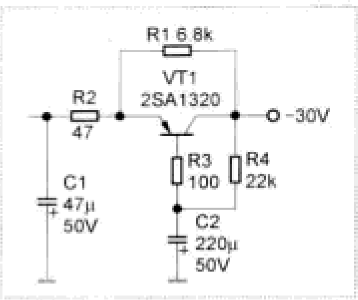


图8 有源滤波电路

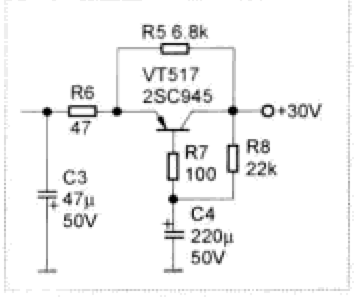


图9 正电源回路的有源滤波电路

需要特别注意的是，不能将万用表串入输出级晶体管的电源回路中测量静态电流，因为万用表的内阻此时不能忽略。

用1kΩ左右的可调电阻或者电位器替代图3中的R511，可调电阻要预先调整到810Ω。功放板的输入端接地或者悬空也可以。输出端不接负载，万用表置于mV挡，跨接在R513两端。为了保险起见，可以从铜箔面R513的两端引出两根导线，然后与万用表相连。

通电，小心调整可调电阻，往万用表指示增加的方向调整，此处是减小可调电阻的阻值，使万用表的指示为22mV即可。此时不难计算出，静态电流增加到了100mA左右。

断电，像调整中点直流电压那样用大动态信号对功放板进行测试，监控R513上的电压降（暂停输入信号时），功放板工作中没有保护的现象（没有听到继电器断开、吸合的声音），电压降没有明显的变化，同时散热器又不烫手即可。

这块电路板，实际的调整结果是：R511由810Ω换成了560Ω，R513上的压降由1mV以下增加至27mV（约3分钟，10mV起），由此计算输出级静态电流约为120mA，工作状态由B类变为AB类。

附注：器件规格简表

附表列出了这块功放板上的晶体管的主要技术参数，包括高版本上所用的功率晶体管和改动时用到的小功率晶体管。

最后需要说明的是，TIP41C/TIP42C为达林顿管，高版本上用的2SC5200/2SA1943为普通功率管，所需要的推动功率更大。从卖家的实物照片上看，其他电路与低版本并无区别，这就意味着，高版本的功率管驱动可能会欠缺一点，换言之，虽然功率输出能力明显增加，听感却并不一定比低版本好，甚至是差一些更有可能，尤其是改为全频时更是如此。因为没有进行实际的验证，这个结论只是笔者自己的推测，仅供参考。

附表 功放板上涉及到的晶体管的主要技术参数（T_A=25℃，典型值，注明者注除外）

型号	电压规格 V_{CEO}	电流规格 I_C	放大能力 h_{FE}	特征频率 f_T	输出电容 C_{ob}	饱和压降 $V_{CE(sat)}$	耗散功率 P_C	封装	制造商
TIP41C	100V	6A	15～30	3MHz	不详	1.5V	65W	TO-220	F
TIP42C	-100V	-6A	15～30	3MHz	不详	-1.5V	65W	TO-220	F
2SC5200	230V	15A	55～160	30MHz	200pF	1.0V	150W	TO-3PL	T
2SA1943	-230V	-15A	55～160	30MHz	360pF	-1.5V	150W	TO-3PL	T
2SA733	-50V	-100mA	90～600	180MHz	4.5pF	-0.18V	250mW	TO-92	N
2SC945	50V	100mA	90～600	250MHz	3.0pF	0.15V	250mW	TO-92	N
2SA965	-120V	-800mA	80～240	120MHz	不详	≤-1.0V	900mW	TO-92L	T
2SC2235	120V	800mA	80～240	120MHz	不详	≤-1.0V	900mW	TO-92L	T
2SA1320	-250V	-50 mA	≥50	≥10MHz	不详	≤-1.5V	600mW	TO-92	T

注：各参数与具体测试条件有关，数值带“-”的为PNP，否则为NPN。功率管测试条件T_C=25℃。制造商为技术文档提供者而非实物所指，F=Fairchild，T=TOSHIBA，N=NEC

电子管6N1作整流管应用一例

◎陈永新

笔者喜欢用电子管制作前级，常常采用的电路有SRPP放大，两级共阴放大等。它们具有电路简洁、性能可靠等优点，非常适合“胆友”们动手制作。线路的直流高压部分主要有两种整流方式，第一种是使用6Z4，6X4，5Z4等专用电子管整流，俗称“胆整流”。第二种使用晶体二极管整流，如1N4007，1N5408等，称为“石整流”。

近日受好友委托，用网购的铝合金机箱制作一台电子管前级。准备使用2只较常见的国产电子管6N3作SRPP信号放大，6Z4作全波整流的线路架构。当考虑电路板安装时，碰到了棘手的问题：机箱内的净高度只有70mm，而朋友却要求把3只电子管都安装到机箱内。图1所示的是电子管6Z4的实物图，图2所示的是它的尺寸图。从图2中可以看出，6Z4的管尖到管脚的最大高度是62mm。安装时配套的小七脚电子管座焊接在线路板上，线路板距离机箱底部需要留足够的间隙，累加起来已经超过70mm的净高度了。通过资料搜索发现，6Z4已经是目前国产整流管中尺寸最矮的管子了。

苦闷之中，我对整流管进行了进一步的探究。在我国20世纪70年代生产的电子管收音机中6Z4被广泛使用，和 6N1、6N2、6P1等管子被誉为收音机中的“黄金搭档”。当时的收音机大多数是单声道设计，使用一只6P1作功率放大，整机的静态电流一般不超过60mA。因此使用一只6Z4作全波整流能够满足电路的要求。现在我们制作的是电子管前级，功耗较低，对于双声道6N3 SRPP线路，在250V的直流电压下，总的静态电流在6mA左右，考虑动态时的电流摆幅，整流电路有20mA左右的电流余量基本可以满足使用了。

想起大名鼎鼎的电子三极管 300B，它在问世初期是被使用在电源电路中的，那么把屏耗较高、内阻较低的电子双三极管作二极管接法后，用在全波整流电路中，这应该是可行的。国产双三极管6N1在矿石收音机中有被用作整流管的一些先例，用6N1整流最大可以输出25mA电流，灯丝与阴极之间的耐压约为300V。该管价格便宜，和6N3等均为小九脚的双三极管，图3所示的是它的实物图，其高度比6Z4矮5mm，把管子插进管座后，从管尖到管座的金属引脚尖之间的距离在 65mm左右，装在净高度是70mm的箱子内正好合适。

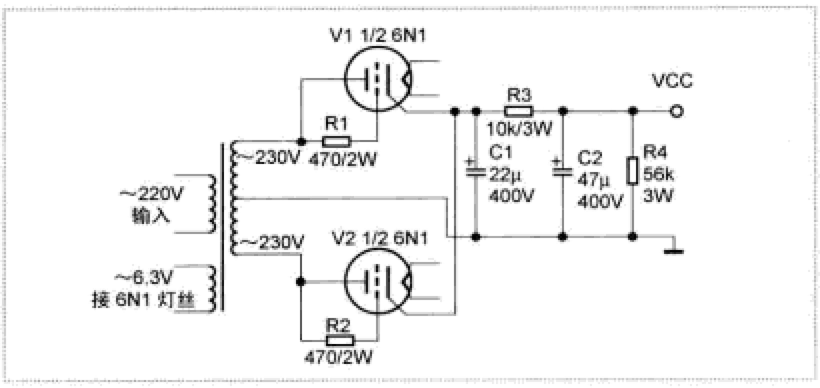


图4 采用6N1接成的全波整流电路

按照图4所示，采用6N1接成全波整流电路进行测试。470Ω/2W的金属膜电阻连接于6N1的栅极和屏极之间，阴极并联作为高压输出端，第一级滤波的电解电容C1使用22μF/400V，R3采用10kΩ/3W的金属膜电阻，第二级滤波电容C2使用47μF/400V，最后用一只56kΩ/5W的电阻作为测试负载，接上电源变压器，6N1的灯丝缓缓点亮，用数字万用表实测56kΩ负载电阻上的直流电压，其电压是 250V，十分稳定。电路在常温下连续工作了4个小时，没有发现元器件有温度急升的现象。

有了上面的测试基础，笔者信心十足地把6N1作为整流管焊接在6N3 SRPP前级电路中，使用的3只电子管高度一致，看起来很协调，声音效果也很满意。6N1的灯丝电流和6Z4同为0.6A，所以发热量相当。因机箱高度不够而无法装机的朋友们，不妨换上这只管子试试。

通过这次制作，我受到的启迪是，在困难面前要学会思考和变通，并且能够通过实验加以论证，最后获得成功。这也正是DIY的一大乐趣吧。

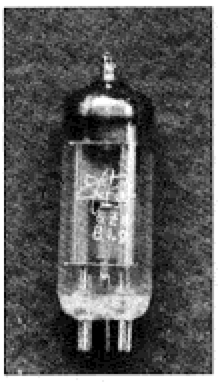


图1 6Z4的实物图

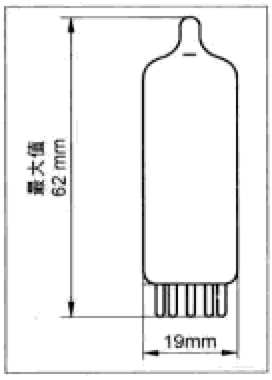


图2 6Z4的尺寸图

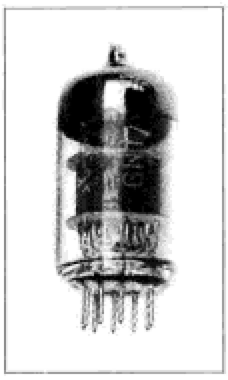


图3 6N1的实物图

我的“纯真”——众里寻她千百度

◎卢世昌

在每个宁静的夜晚，我的“纯真”为我演绎着动听的曲目，沉醉间我记不起与这名字在哪一年相遇，但有一点可以肯定的是，我对她一见钟情！缘分始于这张电路原理图（见图1），在图中最动人的部分就是她采用了串叠式放大（见图2），正是串叠式放大让她无需采用gm放大管即可以实现高增益而且失真极小，没有了让人讨厌的密勒效应，这样她就能从容不迫地全面演绎更多曲目，就是从那一刻开始我就一直在找寻心中那个动人的她——一款能够充分体现电子管KT66性能的胆机。

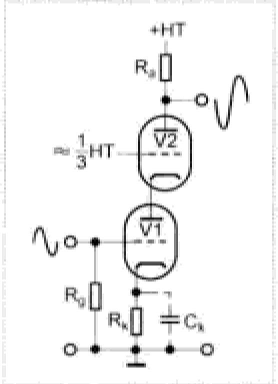


图2

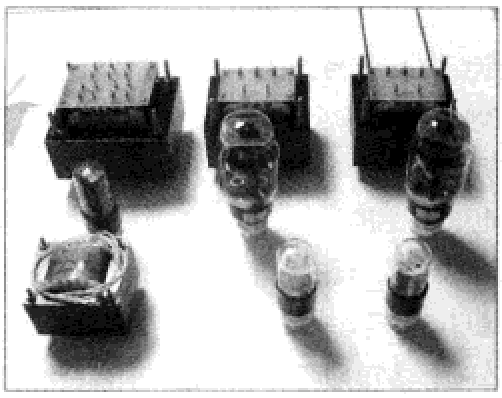


图3

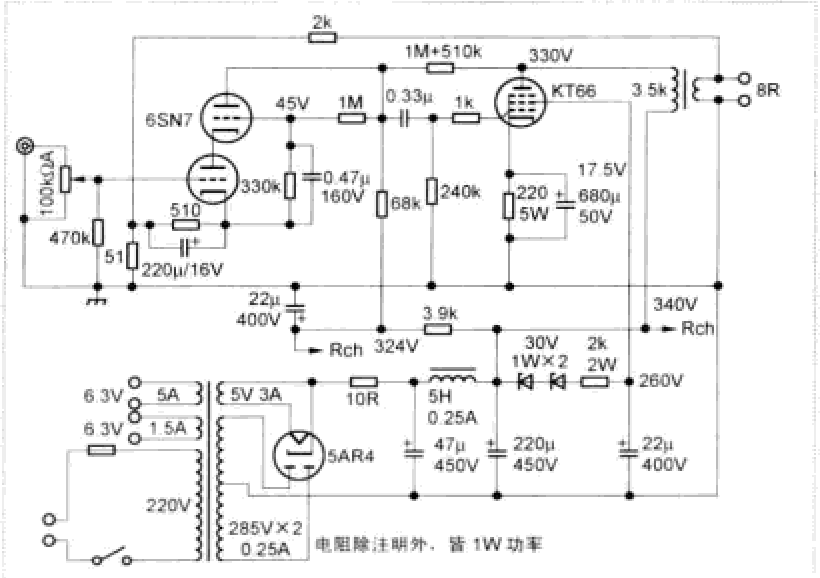


图1

东风夜放花千树

茫茫“机”海中哪个才是我心仪已久的“纯真”呢？或许我的“纯真”的外观随大众审美吧（布局见图3）！

其实一边画PCB时，我就觉得有点茫然，在茫然什么呢？可能是我跟随大众的口味决定外观吧！当样板PCB到达我手中时（见图4），我肯定地告诉自己，我要的纯真并不是这样。

冷静了两天后，我最后做了这个决定（见图5）。可能您会问：“您非常喜欢这样的外观吗？”或许吧，最起码我并不讨厌这样的布局（见图6）。

开五金数控机床加工厂的友人刘先生得知此事后，对我说：“老弟，把CAD图纸交给我吧，这是我唯一可以帮助你的，你就

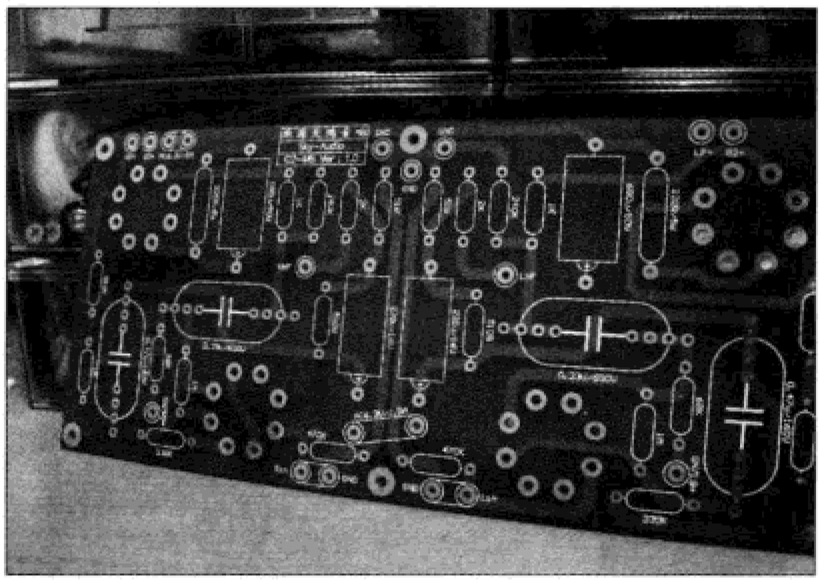


图4

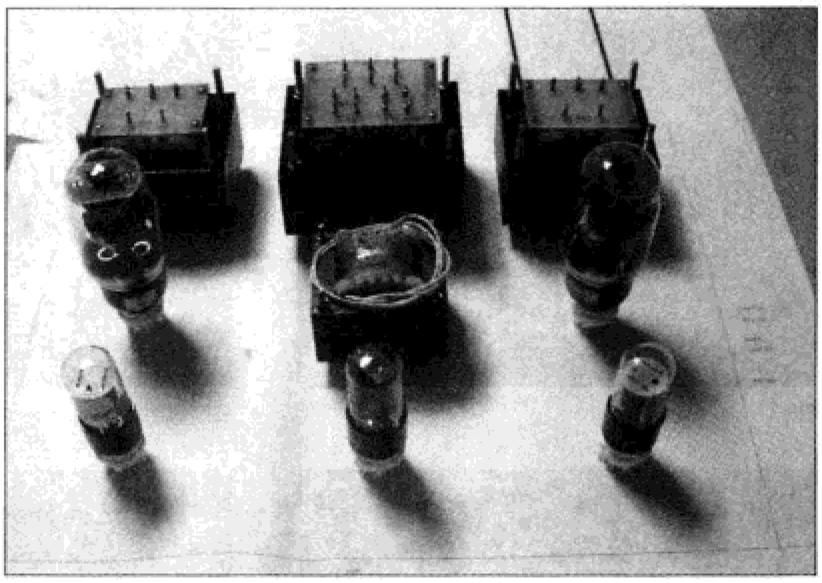


图5

放心吧！”我记得在我把CAD图纸交给刘先生的那个晚上天气非常寒冷，但我心里有一股暖流陪伴着我进入梦乡，梦里我的“纯真”在那暗红的光芒下演绎着首首动听的曲目。

等我收到 “外衣”时，几乎忘却了周围的一切，因为我与她已近在咫尺。两声道分离式设计，这是为了让两个声道达到更好的分离度，但问题是增加了成本及两声道的布线问题（见图7）。回想起漫长的等待还是有好处的——就是为她准备更好的用料（见图8、图9）。

两个晚上的努力最终成就了眼前的这位“纯真”，简单的检查后确定没有问题才安然去睡，心里所有的阴云也随制作的完成慢慢消去。那一晚我做了一个梦，梦里感觉到她身上的KT66、6SN7和GZ34所散发出来的光芒深深地温暖着我！与她一起的组合如下（见图10）。

“纯真”已陪伴我差不多一年了，这一年里我对她有了一个透彻的了解，她最吸引我的是声音表现非常平衡，不会刻意表现哪一个频段。可能有朋友会说：“那不就是没有个性啦？”不对！个性并不是突出某个频段，而是充分表现这支电子管的魅力。在“纯真”的支持下，更好地还原KT66应有的线条感和甜润。

我与她的故事就此完结了吗？不！

蓦然回首

人们常说，问题是在相处中发现。是的！第一位“纯真”已与我相处了一年之久，她的所有缺点也在时间过程中慢慢呈现。在演绎人声曲目时中频段显得有些单薄，正是这单薄而使得音乐的表现上少了一份情感。就是为了那份情感，我决定再次投进茫茫的“机”海中寻找我的“纯真”，她一定倚靠在某个角落里。

但是茫茫“机”海，我该朝哪个方向寻找呢？在我茫然之时，上天眷顾我这位有心之人，一位在DIYAUDIO认识的外国网友告诉我，输出变压器绕法成熟后，应该从材料方面入手进行改

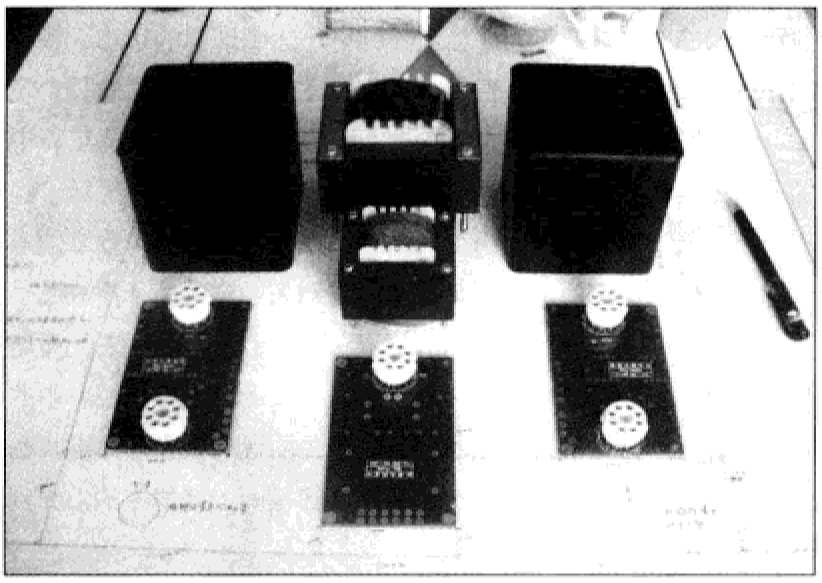


图6

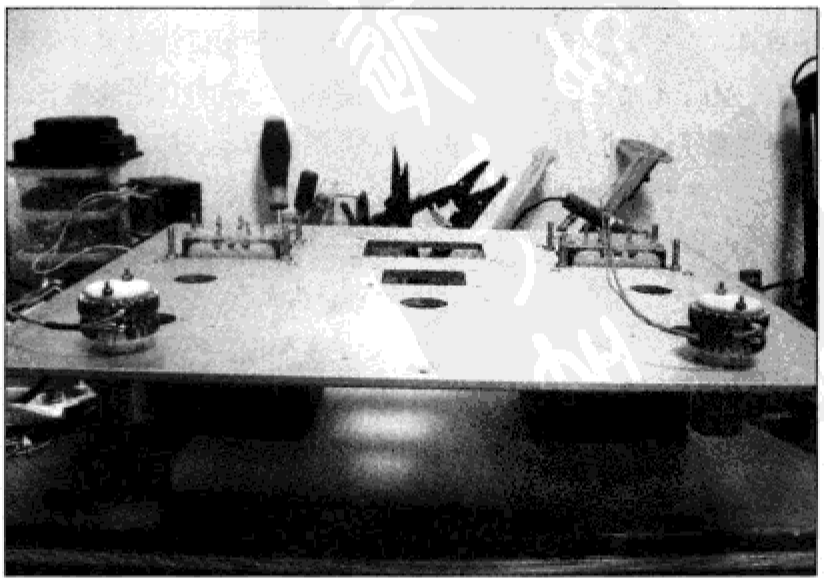


图7

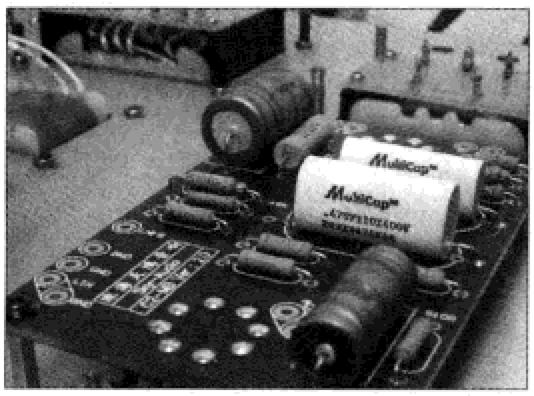


图8

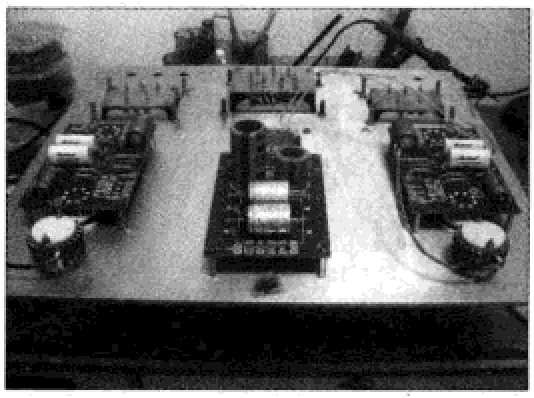


图9

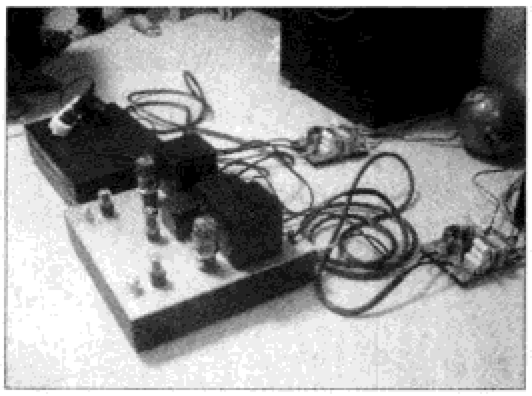


图10

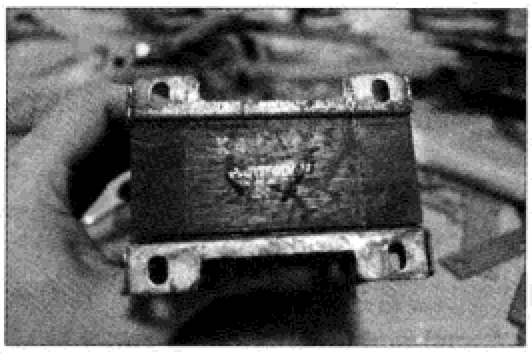


图11

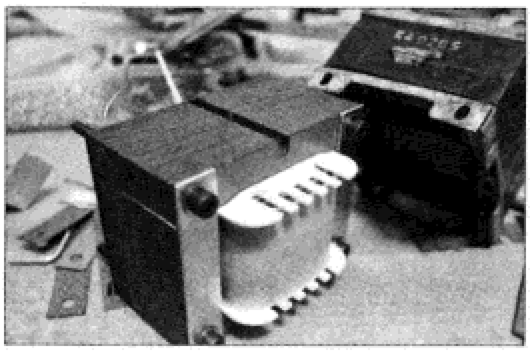


图12

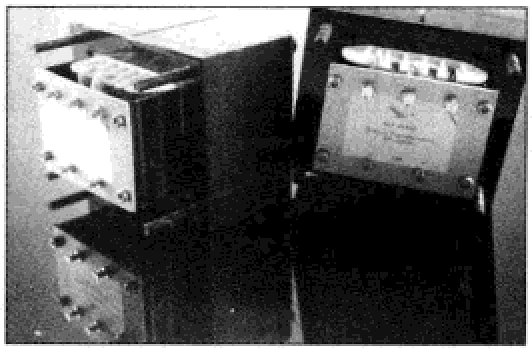


图13

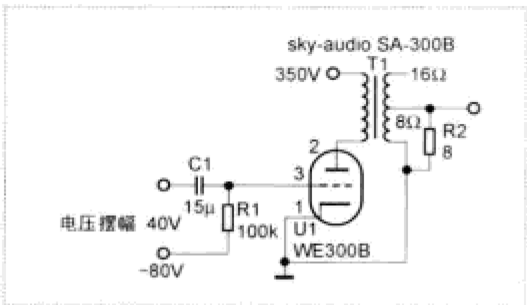


图14

器材

音源：马兰士CD-72（原配电源线）
信号线：天仙配L200
纯真配套电子管：曙光出口版红字KT66、原盒全新RCA 6SN7GTB、原盒全新JJGZ34
电源线：美国POWER SOURCE XP MK II
音箱线：原厂西电音箱线
低音部分：JBL 2225H低音、JBL 4507原厂箱
中高音部分：JBL 2445H号角驱动器、JBL 2380A号喙

进。一切从声线入手，我开始寻找传说中的Z9铁芯，终于在中山市的一位烧友的帮助下，这种炒得比较火的英国雀仔铁芯被我拿到（见图11）。没有什么自动绕线机，没有插片机，从绕线到装片都是双手完成（见图12）。平时也玩摄影棚，为输出变压器拍写真，拍摄效果还是不错的，但声音才是我最终的追求（见图13）。为了不让自己对第二位纯真的感情建立在纯粹的情感上，特意搭建了这个测试平台（注：测试平台着重反映输出变压器的参数，实际机器测试会与输出变压器测试情况有少许差别），放大管由300B及KT66担当（见图14）。

输出变压器的测试表现让我放下心头大石，20Hz~20kHz频率响应优秀，这就是我一直追求音响的平衡性。不同频率的测试结果如下，20Hz（见图15）、100Hz（见图16）、1kHz（见图17）、20kHz（见图18）。

又是一个北风呼啸的寒夜，但我并没有丝毫的倦意，那看似强劲的北风根本不能吹散我心中的热忱，先完成5只电子管的灯丝供电走线（见图19）。接着是信号线的走线，信号走线避开高压走线，这样可以避免不必要的干扰（见图20）。

那人却在灯火阑珊处

听音环境不变，音源不变，音箱不变，线材不变。变的是一新一旧的“纯真”！为了让新“纯真”达到理想的状态，我特意让太太代为煲机，也趁空闲时间回乡下走走。在回家的那个晚上，我一踏进家门便被正在播放的旧装金版《邓丽君15周年》中的《月亮代表我的心》深深吸引。对，工作中的正是我的新“纯真”。在新“纯真”的演绎下，曲词中所蕴涵的对恋人爱慕的那份感情比旧“纯真”表现得更自然，更动人。几首曲子播放后，邓丽君歌声的甜美和演唱中的情感毫无增减地再现出来。而新“纯真”的长处不单单在人声表现上。在试听《国乐炫技》中的《十面埋伏》时，输出变压器的高分析力的优点被充分体现，由琵琶所刻画出来的决战场面气势磅礴，弹指间如战争中的刀光剑影仿佛就在身旁。

试听中当然少不了我喜欢的由RR公司出品的《Tutti》中的

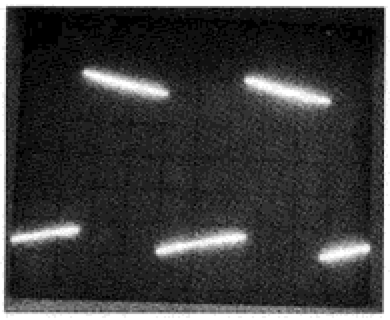


图15

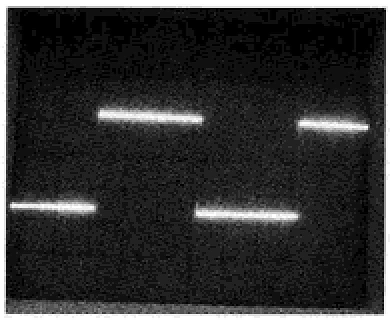


图16

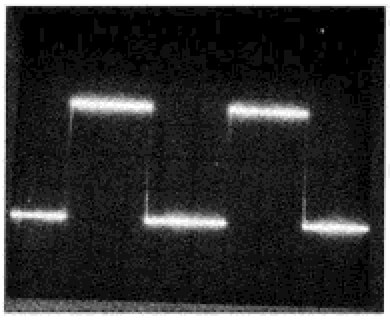


图17

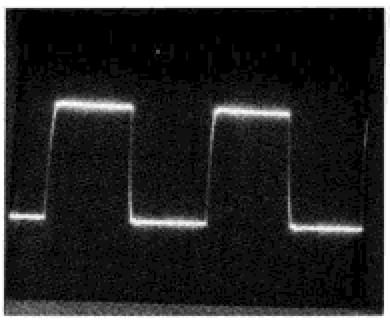


图18

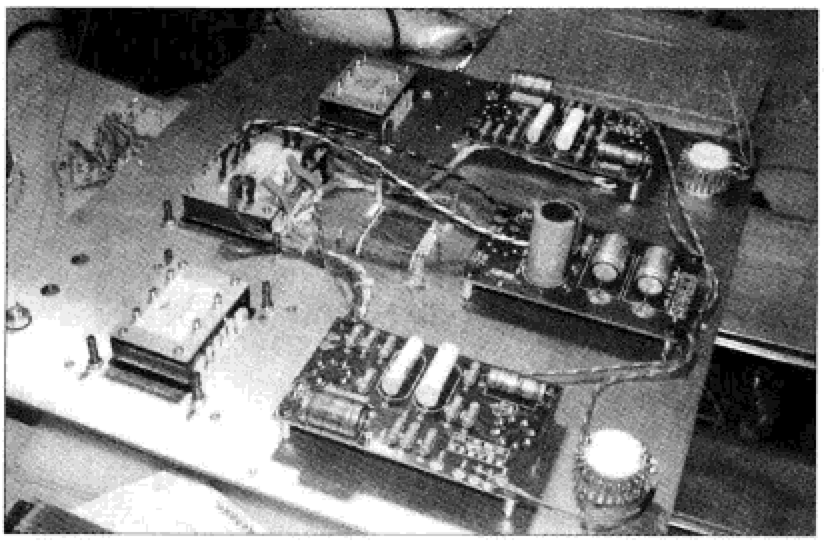


图19

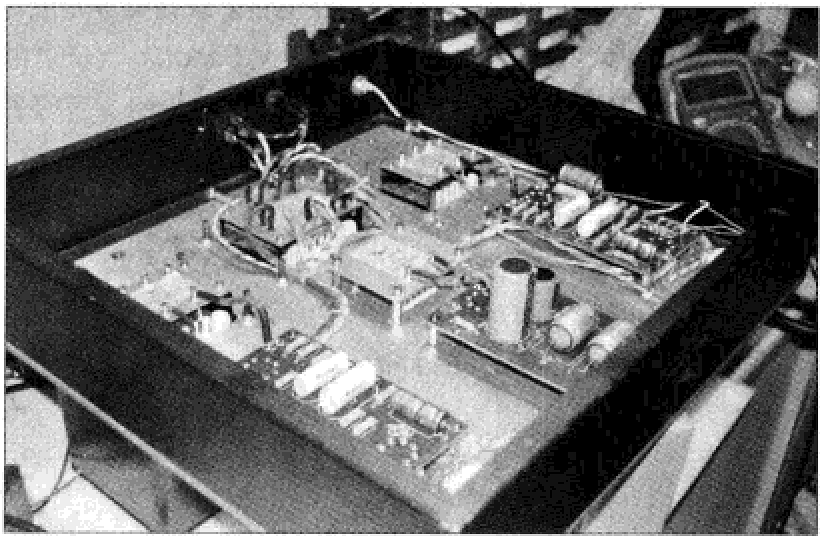


图20

第一首 Rimsky-Korsakov: Dance of the Tumblers, Eiji Oue/Minnesota Orchestra。因为要再现那种宽阔宏伟的场面并不容易，而且最怕的是乐器的定位零乱。新的“纯真”比旧的“纯真”在乐器定位及细节再生能力上更上一层楼。每一晚，每一曲的细细品味，能让我发现新“纯真”的优秀。

最后我做了一个决定，那就是毫不后悔地选择了那一位全新的“纯真”。曾经的她应该好好地休息了，谢谢您，旧“纯真”！

我终于找到了属于我的“纯真”，虽然当中经历了1年半时间。但她总能在每个宁静的夜晚用几首喜欢的曲目慰寂我的心灵，所以再多的制作时间都值得！

新、旧“纯真”零件对比

类别	旧“纯真”	新“纯真”
1W电阻	日本KIWANE	日本TAKMAN REX75
5W电阻	KIWANE	KIWANE
耦合电容	美国MultiCap PPFXS	美国MultiCap PPFXS
阴极电容	早期飞利浦（BC）轴向	早期飞利浦（BC）轴向
电源主滤波电容	原厂BC及瑞典RIFA	原厂BC及瑞典RIFA
整流电子管	JJ GZ34	JJ GZ34
6SN7电子管	NOS 原盒RCA 6SN7GT	复刻版TUNG SOL 6SN7GTW
KT66电子管	曙光红字出口型	NOS 原盒金狮 KT66
输出变压器	超薄黑片铁芯制作	英国二手PARTRIDG铁芯
电源变压器	日本Z11铁芯制作	英国二手红牛铁芯
扼流圈	超薄黑片铁芯制作	英国二手红牛铁芯

制作体会

关于输出变压器：由于本人一直追求高分析力、细致的刻画及高频的质感，所以对那些“慢”和“柔”的单端输出变压器一点都不喜欢，所以我从来没有绕过一对4夹3等工艺的300B单端输出变压器。为了达到我的追求，我从一开始就尝试交叉绕法、多线并绕等制作工艺。开始的时候用输出变压器的方波表现情况进行匝数比等参数的调试，接着是计算多线并绕的线径，并绕线数等。有一点经验还是想与大家分享的，我一直以来把重点都放在次级部分，我所制作的单端输出变压器的次级都一定会采用多线并绕的方法，原因是如果初级电感量太大，高频就有一定程度的衰减，如果您用的是号角单元，输出牛的高频频响不过关的话，号角出来的高频是没有办法听的！而次级多线并绕的目的就是为了提高高频的频响。

我对输出牛的评价标准是：只有自己喜欢的输出牛才是最好的！就好像我不太喜欢TANGO的牛而更喜欢SANSUI的，因为SANSUI的更平衡！

零件参数改动：原设计电路的反馈电阻为2kΩ，这是对应输出变压器次级阻抗为8R时的，由于我的音箱为16R阻抗，经过反复调整，反馈电阻最后确定为6.2kΩ。KT66的阴极电解电容由原设计电路的680μF调整为1000μF。

制作铝带话筒

◎姜韬

铝带话筒简介

铝带话筒的历史悠久，有着传奇色彩。它的音质优美，结构简单，拾取声音方式为纯压差式，具有8字型的拾音范围，音色宽厚结实，瞬态极佳，动态极大，能适应很大声压而不失真。早在20世纪30年代，它就广泛应用在电台、录音棚等专业场合，据我搜索到的资料，为这种话筒申请专利的人是大名鼎鼎的物理学家Walter Schottky（沃尔特·肖特基，你可能没听过铝带话筒，但肯定知道肖特基二极管）和他的朋友Siemens Halske（西门子·哈尔科斯）。他们早在1923年就获得了相关专利，但在申请专利后由于种种原因，没有继续研究，最早的图纸也尘封在他们的文件柜里达8年之久。直到1931年， Harry F. Olson和 Frank Massa首先取得商品化的心形指向的铝带话筒专利，由于这个原因， Harry F. Olson被认为是铝带话筒的发明者。在以后的比较长的时期里出现了不少著名型号，AEA公司的R44C就是杰出代表，见题图。有很多伟大的歌手如Nat King Cole、Billie Holiday、Louis Armstrong、Ella Fitzgerald等，曾用铝带话筒记录下他们传奇的声音。

AEA R44C

铝带话筒的基本原理和结构，几乎是中学物理课本上右手定则实验的直接翻版，不过稍微改变了形式，用一根极薄的铝箔，替代了那根悬挂在磁场中的铜棒。具体说是用一根有折痕的、极薄的铝箔放置在均匀磁场中，铝箔受声波作用，产生机械位移，切割磁力线，使铝箔两端感应出跟声波频率一致，大小成正比的电信号，电流的方向遵从右手定则。铝带话筒与常见的动圈式话筒同属于磁电式传感器，由于铝箔的振动质量很小，本身固有振动频率低于20Hz，所以瞬态响应、频率响应、失真等指标优于动圈话筒，能更灵敏地捕捉声音细节。铝带的尺寸通常很小，阻抗极低，要跟后面的放大器合理耦合，还需要一只音频变压器来转换阻抗。通常专业的话放都是平衡输入，所以这只变压器还有平衡转换的作用。根据它的基本结构原理，我们就能够受到启发，做出一只实用的话筒。由于结构上的固有缺陷，这种话筒非常脆弱，怕风、怕静压、怕口水、寿命较短、输出电平较低、室外使用要格外小心，但它的音色是不可替代，独一无二的。 20世纪50年代以后，在专业场合，铝带话筒逐渐被适应性更强的电容话筒替代，但那种温暖和结实的音色，被很多人所怀念，至今那些著名录音师的工具箱里，还都藏着几支铝带话筒，作为录制特定声源的秘密武器。

我制作的铝带话筒基本结构见图1，它的核心结构由三部分组成，一是铝带部分，二是音频变压器B1，三是差分放大部分。要做出一只实用的话筒，需要在这几方面多用心。

下面简介我的制作过程。

铝带话筒的原理简单，结构也不复杂，业余条件下制作难度主要集中在内部的机械加工工艺和变压器的制作，做好后的话筒见图2。

图1所示是传统的铝带话筒基本电路原理图，通常成品话筒的铝带厚度是2~6μm，长度是30~50mm，宽度是3~5mm（我使用了6μm厚，5mm×50mm尺寸的铝带，振动质量约为4mg，远低于普通动圈麦的振动质量，最终听感也证实，这支铝带话筒的音色超过常见的动圈

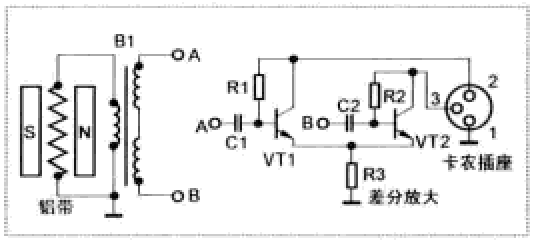


图1 铝带话筒电路原理图

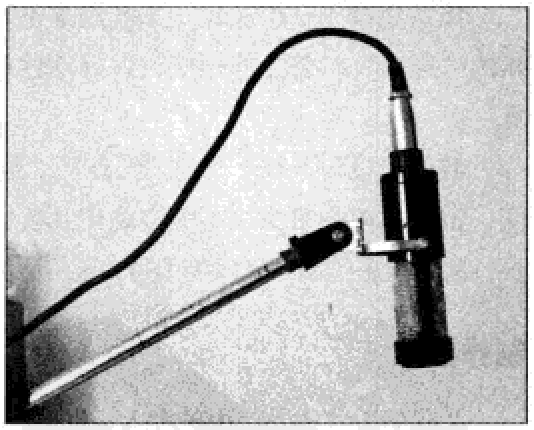


图2 制作完成后的话筒示意图

麦）。磁铁使用钕铁硼磁体，变压器B1阻抗1:200，如果从A、B两端输出信号，就是标准的铝带话筒形式。但是这样输出信号比较低，对话放的放大倍数要求很高，常见的运放IC组成的话放在较大增益时，信噪比不够。为了增加话筒灵敏度，

我使用了一级用三极管组成的差分放大器，内置在话筒内部，用标准的48V幻象电源供电，这样就形成了“有源式铝带话筒”。

外壳的制作

铝带的内阻很低，且使用了音频变压器，这些特点使它对磁场干扰很敏感，开始时我用铝壳做试验，这时变压器B1好比是一个杂乱磁场探测仪，在距离话筒1m远的地方有一台功放，交流声就盖过了说话声，而我的功放，还是用的漏磁很低的环形变压器。外壳要有效的屏蔽磁场干扰，要避免铝、锌等非磁性材料，只能用导磁良好的铁质材料制作，且要有一定厚度。我用的是外径42mm，壁厚3mm的铁管，退火后使用。外壳制作见图3、图4、图5，整个外壳分为上部（80mm）、中部（50mm）、底盖（10mm）、网罩、卡农插座（17mm）5部分，组装后总长157mm。底盖与中间用螺纹连接，上部与中间对接后两侧对称攻Φ4mm的螺丝孔，用厚3mm的铁板，加工两块直径等于铁管内径的圆板，一块用电焊焊接到50mm外壳里面的上部，用来固定铝带和磁体支架，一块焊在10mm长铁管底部做底盖，然后用车床加工螺纹，最后钻Φ22mm的孔，用来固定卡农插座。我用的插座来自一支报废的手持话筒，塑料材质，直径25mm，连插座一共锯下20mm，把锯断一端锉出一个高3mm，直径22mm的台，用502胶固定在底壳的孔上。外壳上部前后用油性记号笔，画好线，用电钻和锉刀开两个较大的孔，只在两侧留10mm左右的两条边，然后用20目的不锈钢网罩，剪成合适尺寸，卷成两层，塞进里边，用硅胶固定。外壳上部将放置铝带，网罩不能太密，不能妨碍声音的传播。顶部的网罩用报废收录机上的铁网制作，见图6，先剪成小块，放在跟外壳一样的铁管上，沿着铁管内边用锤头轻轻地锤铁网，切记不可用大力，将铁网锤进铁管内大约3mm，取下，剪去多余部分，凸面朝外，固定在话筒外壳顶部，用胶固定即可，在固定网罩前，先给外壳喷漆，颜色自定，但个人感觉黑色比较大方，外壳完成效果见图7。

铝带及磁体支架的制作

支架是比较细致的部分，是整个话筒的心脏，为了便于固定调整，我做成了磁体支架和铝带支架两部分，图8中左边的U形体，是磁体支架，我使用了目前可以找到的磁力最强的钕铁硼磁体，以获得较高的灵敏度。右边的凸形体是铝带支架，两部分用Φ2mm螺丝固定，这两部分很关键，制作时要求比较细致，既要配合紧密，同时又要能方便地分离，这样下一步固定铝带时，可以便于仔细调节，同时可以避开强磁干扰，使用铁磁材料的工具装配，分解图见图9，组合图见图10。

图9中所示的1是粘接磁体时固定用的橡胶块，尺寸6mm×4mm×4mm，需要两块，2、3、4、5、6、9组成铝带支架，3的材料可以用铝质材料，也可用绝缘材料，但要使螺丝2接地，用螺丝4、5固定3在6的一端，9固定在另一端，铝带就固定在3和9上面中间的螺丝上，铝带上端通过3直接接地，9必须用绝缘材料制作，我使用的是PVC塑料，由铜箔将信号引出，作为铝带的输出端。3和9的高度是5mm，这样铝带固定在磁体的中间位置，经过实验，铝带在中间位置，音色最好，灵敏度最高。凸形支架6用3mm厚的铝板制作，上宽16mm，下宽32mm，长60mm，所有的螺丝都使用Φ2mm的铜质螺丝，以免组装时受磁场干扰。7、8是钕铁硼强磁体，10是磁铁支架，S、N极性相对，用502胶固定在U形铁10的内侧，形成很强的均匀磁场。磁体尺寸5mm×10mm×50mm，磁极在5mm×10mm的两面，U形铁使用8mm×10mm的铁条退火后制成，长40mm宽32mm，内侧宽16mm。这样固定

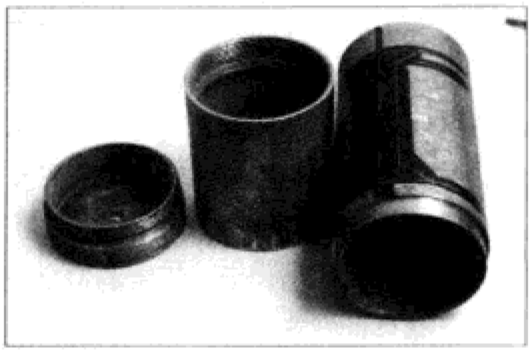


图3 制作话筒外壳所需的铁管

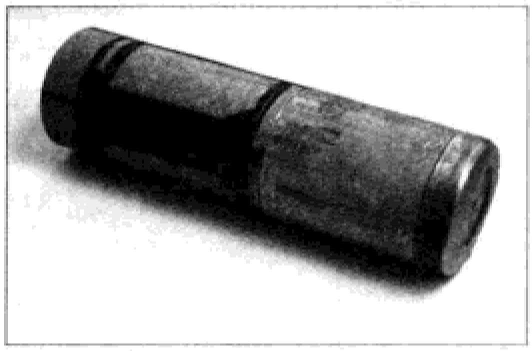


图4 铁管组装图

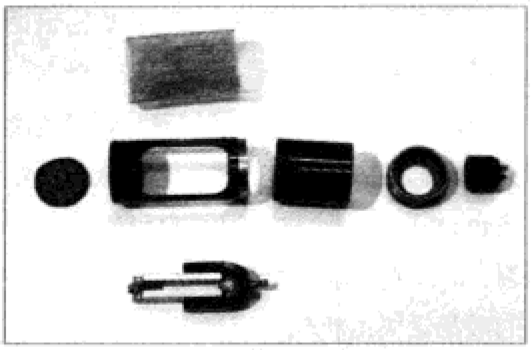


图5 制作话筒外壳所需的其他配件

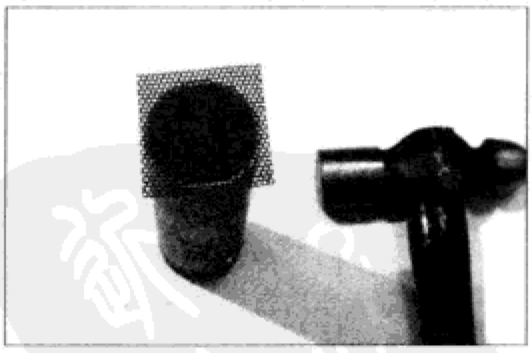


图6 制作网罩

图7 外壳完成效果图

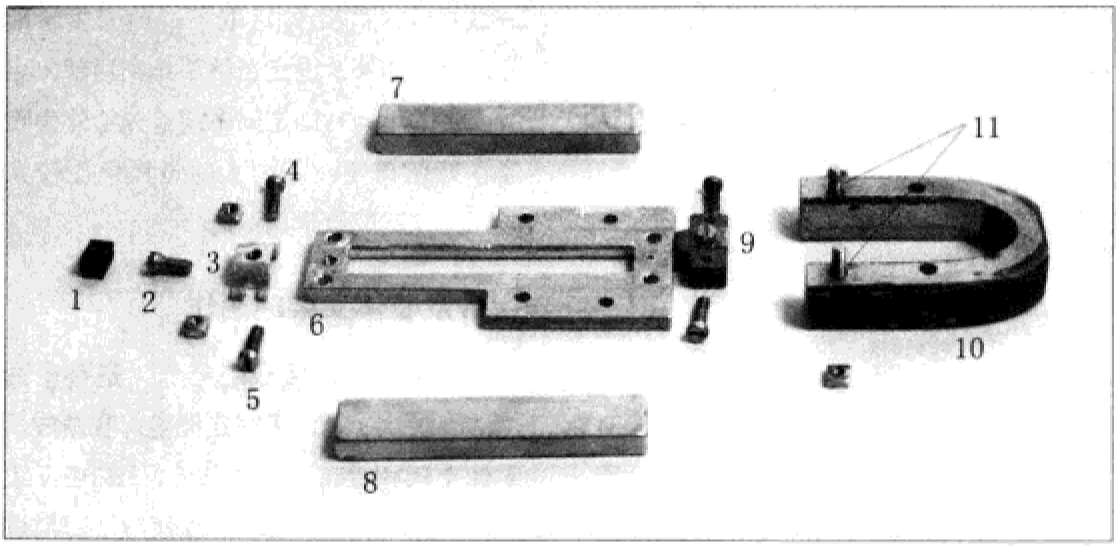


图9 制作所需的配件

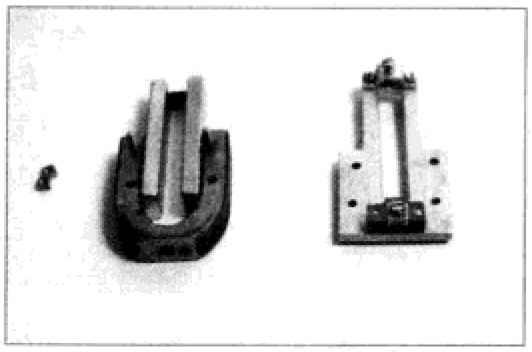


图8 左边为U形磁体支架，右边为凸形体铝带支架

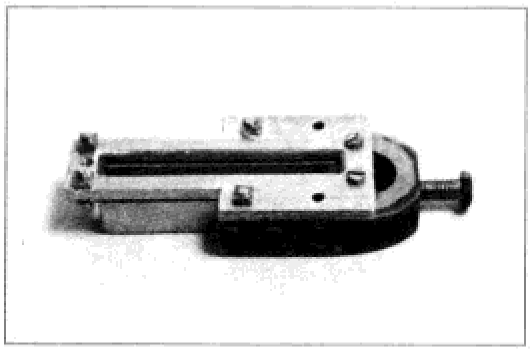


图10 配件组合图

好磁体后，中间有6mm宽的磁隙，由于钕铁硼磁体的磁性很强，在固定时需要用两块橡胶块1撑住，等胶干透后，再取下。螺丝11是用来把磁体支架跟铝带支架固定到一起的，跟它对应的铝支架6上的孔，间隙要很小，因为铝带的宽度是5mm，磁体间宽度是6mm，两边各只有0.5mm的间隙，这个螺丝比较松的话，在组装时很容易碰坏铝带。我先在磁铁支架10上钻了两个Φ2.5mm的孔，在背面把这两个孔扩大成Φ4mm但不要钻透，将螺丝11放进去，把6跟10固定好，调整好位置，然后用焊锡把孔封住，取下6，这样螺丝11就固定在10上面了，再组装6与10时，就不会移动了。U形铁10的底部有一个孔，攻有Φ5mm的螺丝，用来把支架固定在外壳里。

做好支架，下面开始动手做铝带话筒的灵魂部件：铝带。所谓铝带，就是一根薄薄的铝箔，选用铝箔越薄，话筒的高频响应越好，灵敏度越高。但是太薄的铝箔也过于脆弱，一阵微风都可能造成断裂，一点潮气就可能腐蚀损坏，市场出售的成品话筒的铝箔厚度通常在2~6μm，尺寸常见的是5mm×50mm，一根或者两根串联。也有厂家制造了高分子薄膜上镀金属做振膜的“复合铝带话筒”，我也实验过用薄膜电容器里的复合薄膜，但那层铝实在是太薄，电阻过大造成信号损失，几乎没有输出，而且太薄的薄膜无法压制折痕，只能张紧固定，这样的振膜动态太小了，拾取大声压音源有压缩失真，这种薄膜适合DIY电容式话筒，而不是铝带式。我找到的最薄的铝箔，厚度6μm，来自一种香烟内衬，质量很接近成品话筒。把铝纸用锋利的小刀裁成5mm宽的纸条，长度要大于70mm，在清水里泡几分钟，用镊子轻轻撕下衬纸，就得到了铝箔。用脱脂棉球蘸清水轻轻的擦洗铝箔粘贴衬纸的一面，把残存的胶水洗掉，然后晾干，就可以做铝带了。铝带不能张紧固定，要压上折叠，使铝带的运动范围增大，以增大话筒的动态范围。在5mm宽的铝带面前，我的手指很笨拙，折出的铝带总是不整齐，折痕也不均匀，经过很多次的实验，我找到在铝带上做折痕的办法，做了一个专用工具，这是一对用软木制作的类似于齿轮的东西，见图11。齿轮的厚度大于5mm，弧长大于50mm，齿距1.5mm左右，齿深1mm左右，这些齿用方形什锦锉仔细的锉好，两个齿轮的啮合要良好，最后用细砂纸打磨一下，防止木齿过于尖锐扎破铝箔。把铝带放进中间，用手指固定好一端，用木齿轮轻轻碾过，就留下比较完美的折痕了，开始时容易碾偏，做好的铝带不直，只要多做几次，就能找到窍门。

做好折痕的铝带，就可以固定到支架6上面了，见图12。先把支架6的两端螺丝孔附近涂上一点点胶水，这里绝对不能用502，应该用风干比较慢的胶，比如鱼珠万能胶。然后把铝带拉开粘到支架上，不要上螺丝，先把支架6固定到磁铁架10上看一下铝带两边的间隙，如果不均匀，趁胶还没干，这时还可以调整。调整好位置，等胶水干透，就可以用螺丝加上薄垫片，固定铝带并将上端接地。由于铝箔的刚性较大，这时的铝带好像是一根弹簧，本身谐振频率较高，落在音频范围内，严重影响音质，这时要进行另一个细致的工作——退火。所谓退火，就是把铝带加热到几百摄氏度，但又不能达到其熔点，使铝带内部应力消失，弹性也变得极小，相应的顺性增大，使它自身谐振频率远低于音频，这样话筒在整个有效频段内的频率响应比较平直，不会有较大的峰谷。给铝带退火的专业设备很昂贵，业余条件下不易做到，我的办法是用酒精灯均匀而快速地给铝带加热，这需要一点经验，看到铝带的光泽消失，变成银白色时就停止。如果用手接触，你会发现铝带变得很软，机械强度极差，但我们要的就是

这个效果。退火也不是一次就能成功，纯铝的熔点只有660℃，酒精灯的火焰高达1000℃以上，6μm的铝带热容量极小，在火焰上移动得稍慢就有可能把铝带烧坏，只有多做几次才能掌握要领。

退火完毕后，把铝带支架和磁体支架组装到一起，就完成了DIY话筒的机械部分，接下来制作电路部分。

电路部分的制作

图1中的变压器，在电路中起着转换阻抗与转换平衡的双重作用，按照阻抗匹配原则，变压器内阻等于信号源或者放大器内阻能得到最大的信号传输功率，但那样变压器的频响将以中频为中心，高、低频两端有较大的衰减。音频变压器对音色影响很关键，不论对厂家还是发烧友来说，都是一个重要的环节。它的铁芯材料，线圈的绕法，尺寸大小，都对音色有很大影响。我试验过各种尺寸的几种铁芯材料，包括普通硅钢片、铁氧体和坡莫合金，发现体积较大的铁芯声音更厚实，经过数次的计算、试验，确定了这个变压器的匝数比。为了检拾微小的细节和得到平滑的频响，经测量铝带的电感是0.05mH，我设计的变压器初级阻抗大于铝带内阻，次级小于放大电路内阻。铁芯使用EI形0.3mm厚坡莫合金片，舌宽4mm、叠厚5mm。初级用Φ0.2mm线绕25匝，电感6mH，30Hz时阻抗为1Ω，次级设计300Ω，按照公式（次级匝数/初级匝数）^{2}=次级阻抗/初级阻抗，考虑到各种损耗，确定次级为360匝，双线并绕180匝。分段分层绕制，初级绕两个25匝，并联使用，次级双线并绕，用Φ0.08mm漆包线，先绕120匝次级，然后绕25匝初级，再绕120匝次级，然后再绕25匝初级，最后绕120匝次级，包好绝缘纸。用细线接出引线，把初级并联，次级串联，分清同名端，首尾相接，中间接地。分段分层绕制，是音频变压器常用的手法，有较小的层间电容和比较宽的频率响应。

差分放大部分见图1，元器件说明如下。

◆ VT1、VT2：NPN三极管9014，便宜而且易购，低噪稍大，如果用N沟道的场效应管噪声将更低，但偏置电路要适当调整。

◆ C1、C2：10μF/50V，电容要选漏电较小音频专用电解电容，但不要用钽电容，因为钽电容在小信号时的半导体效应，会造成较大失真。

◆ R1、R2：82kΩ 1/2W金属膜电阻。

◆ R3：先用47kΩ可变电阻代替，调节R3使VT1、VT2的集电极电流在0.4~0.5mA，然后测量R3，用阻值近似固定的电阻换下。

◆ 卡农插座1脚接地，2脚定义为热端，3脚为冷端。

电路很简单，只有七八个元件，做在直径30mm的圆PCB上，用铜丝固定在底壳卡农插座上，变压器也焊在圆电路板上，用铜丝跟电路部分固定在一起，放置在话筒壳内部，这些铜丝可兼作引线用。可以看出这个电路的输入阻抗大于600Ω，能更好地放大来自变压器的细节信号，电路做好后的组装见图13，为了方便在话筒架上固定，我用不锈钢片做了一个C形架，用来固定话筒。做好后的话筒见图2，这时接上话放就可以试音了，因为是8字形的拾音范围，会发现这个话筒有很严重的“近讲效应”，距离话筒较近时，低频被夸张地放大，这也是压差式话筒的一个特点。为了削弱近讲效应，可以在铝带后面贴上一定厚度的海绵，起到声阻尼的作用，见图14，海绵的密度与厚度需要根据声音状况精细调节。接下来还可以对铝带的位置和电路的工作状态进行微调，这些调整对音色的影响很微妙，需要时间与耐心，根据自己的喜好仔细调整，本话筒录音效果试听地址：http://fc.5sing.com/1037673.html。

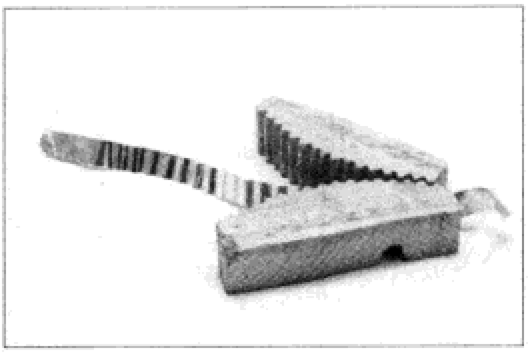


图11 软木制作铝带折痕

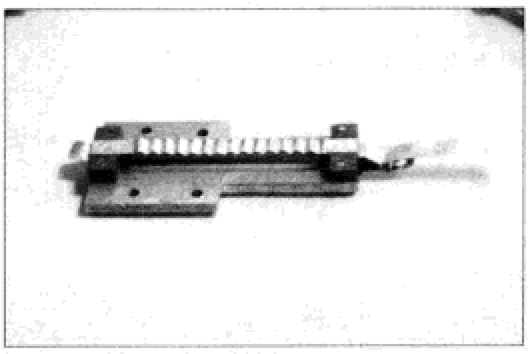


图12 将做好的铝带固定到支架上

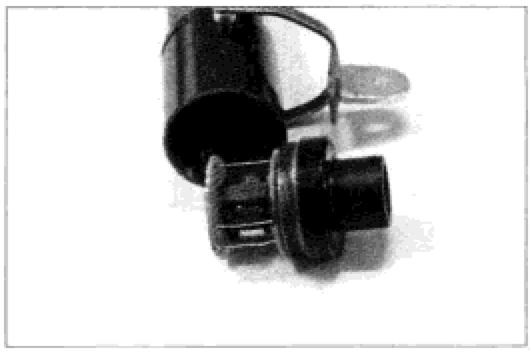


图13 焊好电路后的组装图

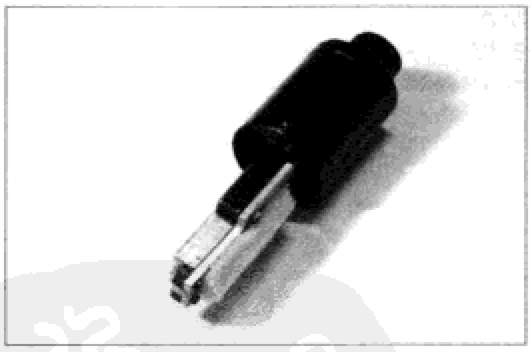


图14 铝带后面贴一定厚度的海绵

这个话筒使用标准的48V幻象电源，如果你的话筒放大器没有幻象电源功能，需要制作电路给它供电，具体电路见图15，这是一种做得比较简单的单路幻象电源，也适用于除电子管之外的大部分专业电容话筒，图中的变压器和稳压二极管不易购买，变压器可以自绕，

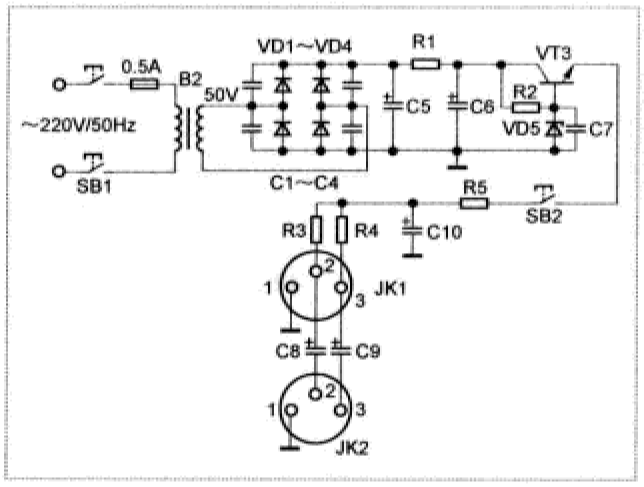


图15 48V幻象电源电原理图

用舌宽12mm叠厚16mm的铁芯，初级用Φ0.12mm漆包线绕2850匝，次级用Φ0.25mm绕650匝，稳压管可用两只24V/1W串联。在图15中的电路元器件说明见附表。

为了配合这只话筒，我制作的话放先后有3个，最早用NE5532作为核心的简易话放，尔后使用了专业话放IC THAT1510，采用厂家推荐图纸，最终使用的是DeathVR设计的AUDIO APPZ话放，采用分立加运放的形式，据DeathVR说，这个电路结构，就是THAT1510内部电路的分立式设计，但是音色与THAT1510有显著的区别，THAT1510增益最大60dB，声音犀利平直，失真极小，AUDIO APPZ最大增益达到了72dB，用三极管工作在甲类状态，增益52dB作为主放大，运放接成减法器增益20dB同时转换阻抗，总体声音温暖厚实，又不失解析力。话放电路见图16、图17、图18。

后记：

感谢赠送我话放资料和元件，并指导我最终完成AUDIO APPZ话放的DeathVR，他对话放电路的理解颠覆了我以往很多惯性思维。

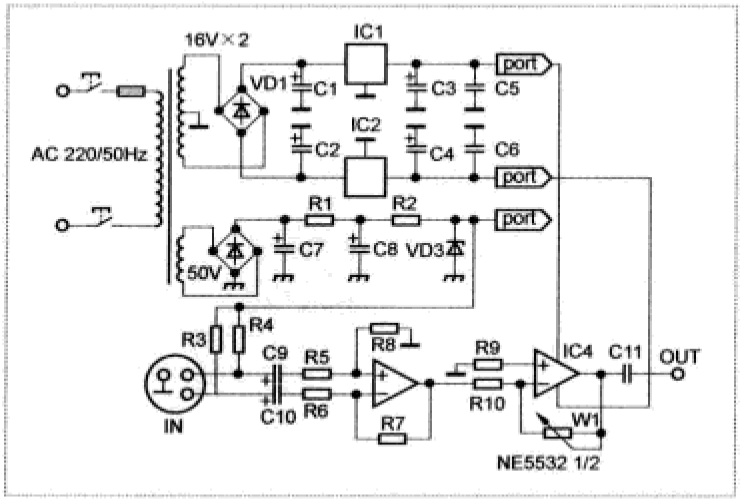


图16 以NE5532为核心的简易话放

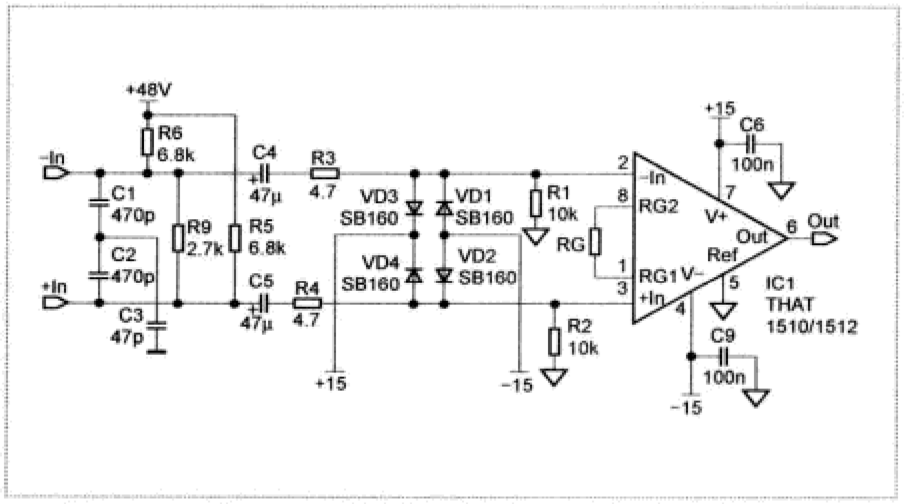


图17 采用专业话放IC THAT 1510的电路

附表

标号	器件名称及数量
B2	220V/50V 5W电源变压器
VD1~VD4	1N4004×4
VD5	48V 1W稳压二极管
C1~C4	0.01μ×4
C5、C6	470μ/100V
C7	0.1μ/63V
C8、C9	47μ/63V
C10	100μ/63V
R1	1kΩ 1/2W
R2	4.7kΩ 1/2W
R3、R4	6.8kΩ 1/2W
R5	100Ω 1/2W
VT3	2SC2073
JK1、JK2	公、母三芯卡农插座

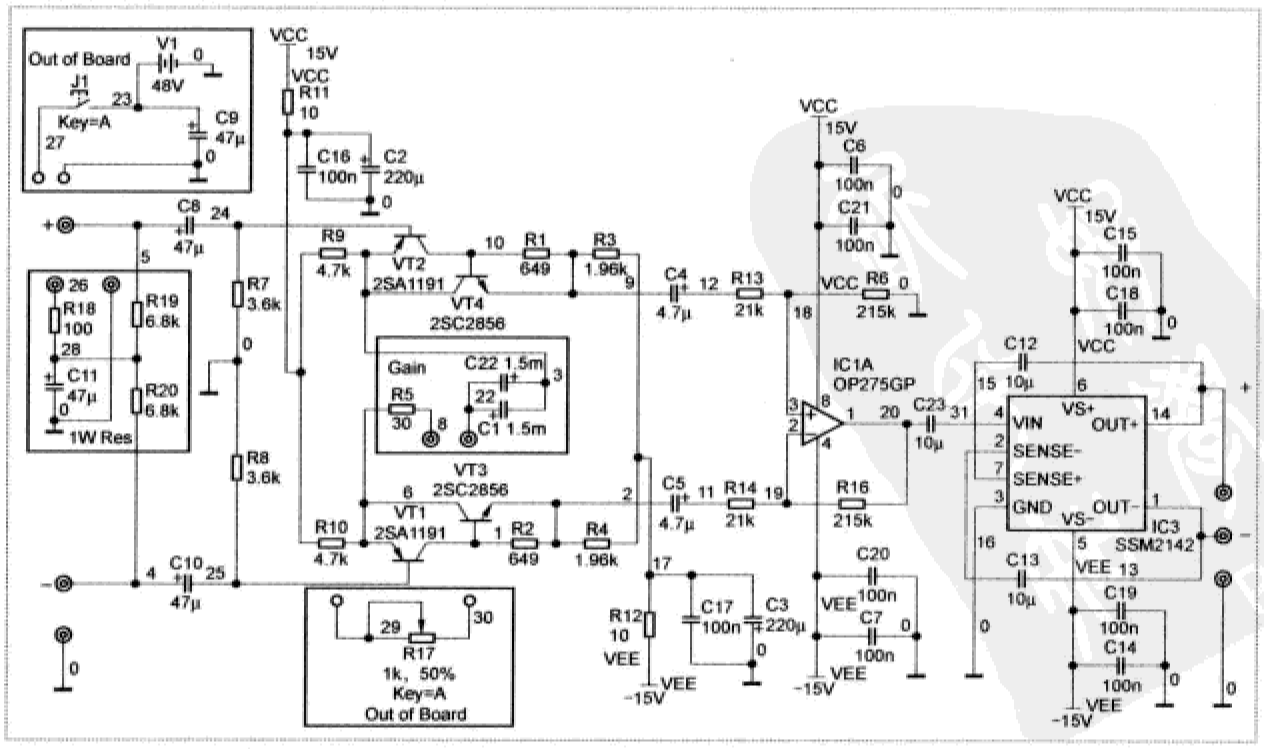


图18 AUD10 APPZ话放电路

◎杨宇洸

"A10"的诞生

——一部功放整机的设计制作

好友也是一位音响爱好者，近期要搬新家，计划添置一部功放整机来欣赏音乐。他曾经组装过我设计的数款功放模块，尤其钟情于晶体管的声音——甜美细腻，韵味十足。于是，我开始了"A10"功放的设计制作工作。

放大电路

放大电路原理图如图1所示，电路使用"LME49830+MOSFET"的构架，LME49830是单声道功放电压放大级专用集成电路，它的工作电压最高可达±100V，具有失真率低、外围电路简单等特点。以我的经验，功率级场效应管选用东芝2SK1529/J200较适合。事物都有两面性，晶体管放大器频响好，但也有其自身的不足，就是跨导低、导通电阻大等。不过这些问题是可以通过多管并联加以改善的，考虑到成本因素与使用范畴，所以"A10"上会采用每声道两对管并联，同时驱动级也用东芝的中功率场效应晶体管，构成全晶体管功率放大器，输出功率设计在80~100W。

LME49830最大可以输出56mA的驱动电流，在不加驱动级的情况下完全有能力驱动两对K1529/J200管，加上驱动级就是为了让LME49830轻装上阵，减轻它的工作压力，减小失真，提高压摆率，增强它的拓展性。加上驱动级电路后，驱动级与功率级可以有4种组合，分别是BJT-BJT、BJT-MOS、MOS-MOS、MOS-BJT。根据不同需求，搭建多种电路，适应性更广泛。这里体现了LME49830的一个特点，就是它的偏置电压达到16V时，可以正确偏置于上述4种驱动级与功率级的任意一个组合。

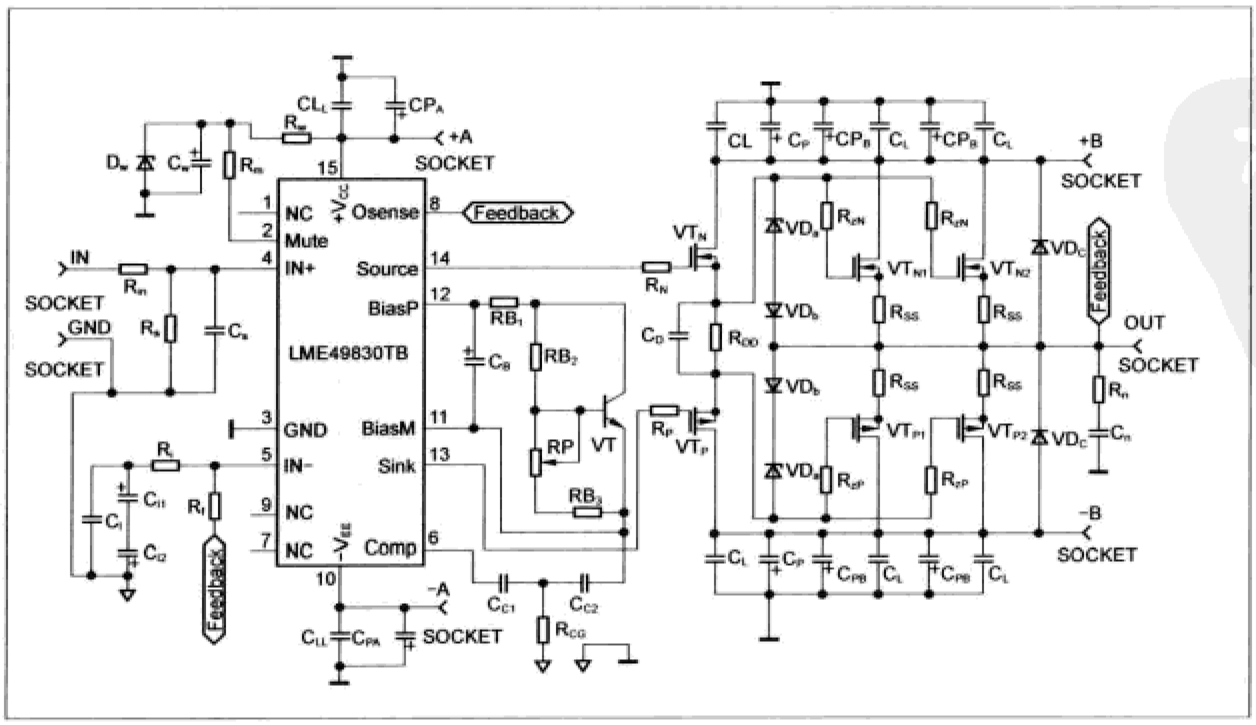


图1 A10放大电路原理图

电源电路

电源方面采用双路电源设计，LME49830使用高电压稳压电源，输出级使用标准整流、滤波电路。如果功放电压放大级比输出级的工作电压高，可以增强动态表现，大功率状态下失真减少，音质也有所改善。既然要两组正、负电源，那么就要有两组双绕组的变压器，一个绕组输出（+/-A）给LME49830供电，另一组（+/-B）给输出级供电，如图2所示的A方式，这个变压器是要定制的。

市售的功率变压器次级一般很少能够实现较高的电压输出，为了取得高电压，可以使用普通的电源变压器，外加小功率变压

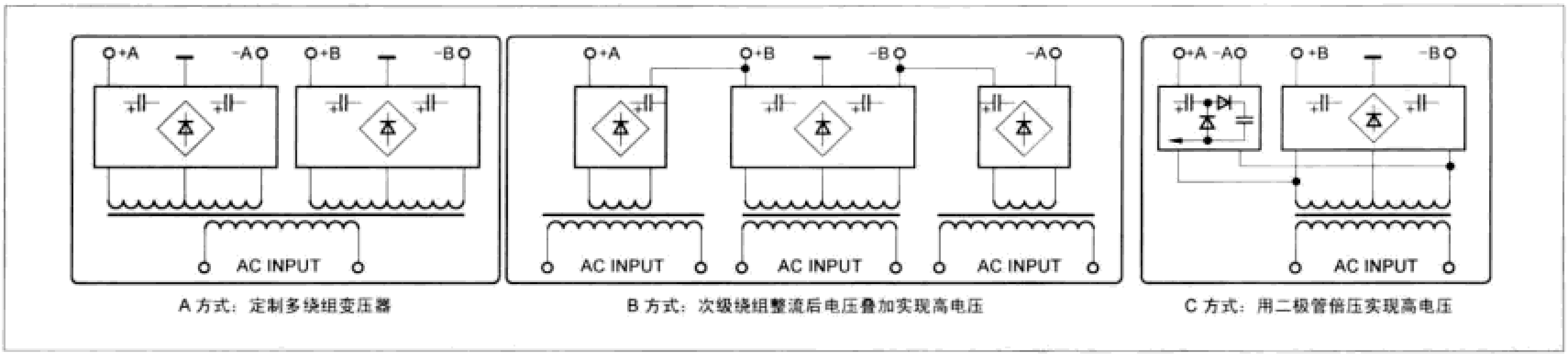


图2 3种整流方式

器，分别整流后再将电压叠加以实现高电压，如图2所示的B方式，或是利用一个次级有多个独立绕组的变压器，也是要分别整流后再叠加。

图2所示的C方式是用二极管倍压方式实现高电压，其特点是用一个双绕组变压器即可实现两组电压输出。这和B方式一样，都是可以充分利用手头材料和成品变压器规格，二极管倍压电路属于半波整流，不足之处在于输出电压纹波大、电流小。出于尝试的目的，我决定先使用这一种方式为功放电路供电。虽然二极管倍压电路负载电流小，但对于电压放大级来说已够用了，纹波大的缺点可以使用稳压电路取得平滑的直流电。电源保护电路如图3所示。以后有机会再设计一款A方式的电源，至此放大电路和电源电路已确定。

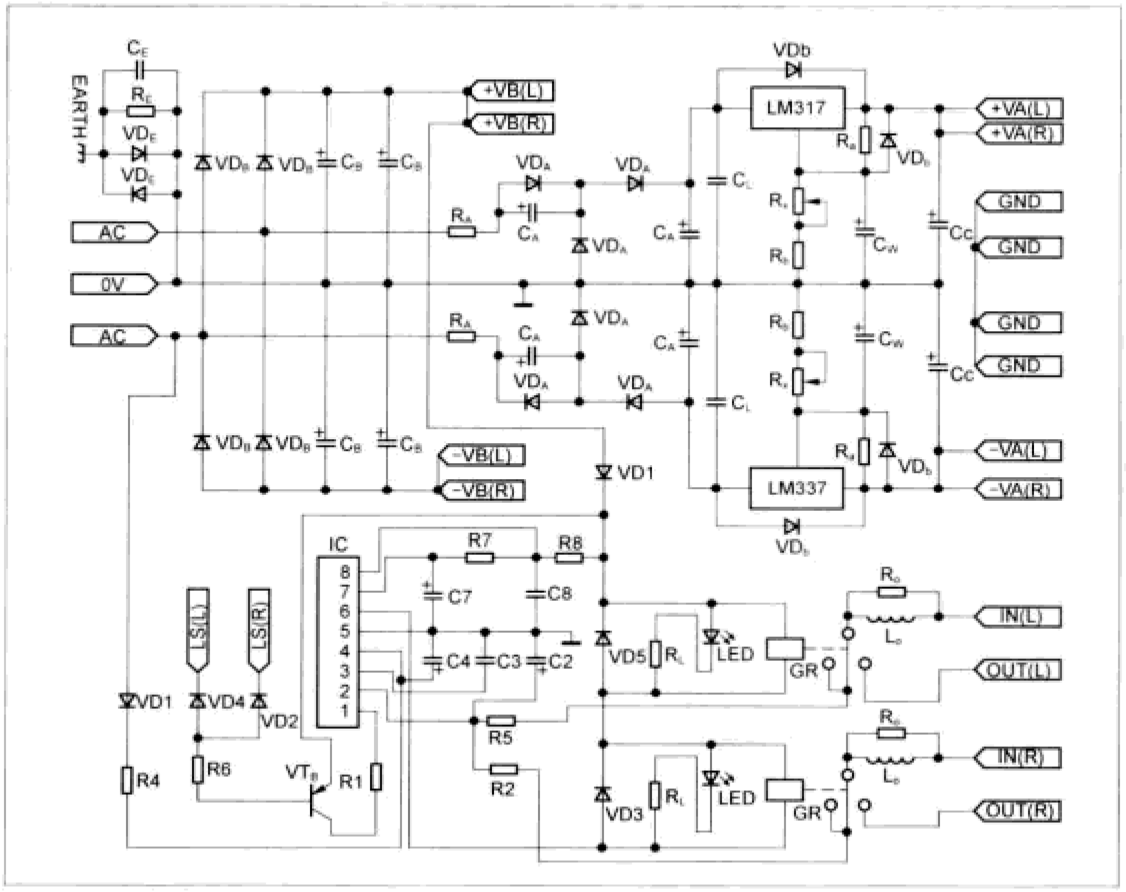


图3 电源保护电路原理图

其他功能

好友喜欢合并机，换句话说，是喜欢带音量控制的后级，主要是为了使用方便。在我的设计中已有带音源选择的IC式音量控制模块，好友也十分愿意尝试一下，所以决定使用它。

音量控制途径有许多类型，普通电位器和带电机的电位器，它们两种都是两个声道同步精度差、易磨损，但后者可实现遥控操作。还有一种是多波段旋转开关，同步好、手感差、易受干扰、不可遥控。这两种方式还有一个不足之处就是它们都需要安装在前面板上，但音频信号从后面进入，到达电位器，然后送至功放板，其间有较长的路径，需要加装延长杆。

用继电器切换电阻网络实现的，按原理有分压、分流和R-2R方式。它们共同的缺憾是调节音量时，继电器的机械噪声大。除非用高端的模拟开关芯片来替代继电器，不过成本很高。继电器的工作受到单片机或者ADC芯片的控制。

如图4所示，就是前面提到的IC式音量控制芯片，如高端的PGA2310/20，0~255级共256级衰减，需要用单片机控制，可实现手动、遥控、音源选择等多种功能。

指针式VU表近来在网上十分流行，它的中文名称是 “音量单位表”，如图5所示。 显示的是平均电平。在柔和的背光衬托下，表针随音乐节奏而摆动，可以想象这是非常美妙的一种情景。和好友商议后，决定采用这一流行元素。

至此，功放的全部功能已敲定了。该考虑配置电源变压器了，根据机内各部分电路用电以及环形变压器的通电冲击电流，制定总功率在350VA。环形变压器由于没有气隙和具有高磁导率，在通电时会产生大于额定工作电流的多瞬间冲击电

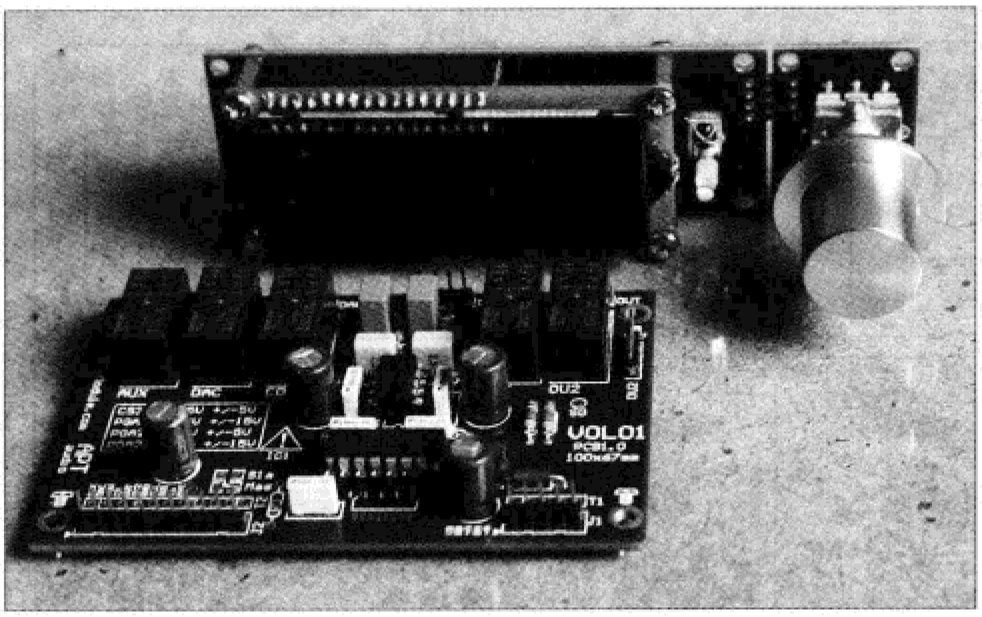


图4 IC式音量模块

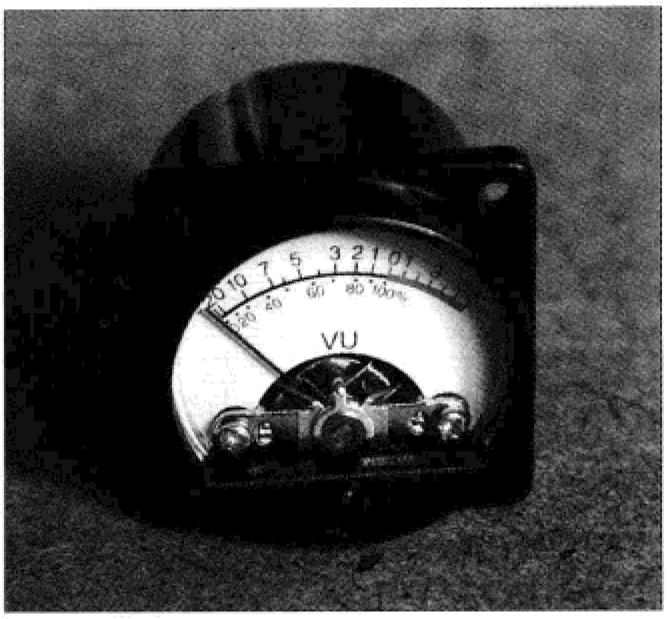


图5 指针式VU表头

流，并且容量越大的变压器冲击电流越大，在没有缓启动电路时，会出现跳闸。优质环形变压器的铁心是冷轧硅钢片无缝卷制而成的，效率高，漏磁小，电磁辐射也小。不过要是你追求高性能的话，可以加上铁质变压器罩，屏蔽掉电子辐射。

机箱设计

开始设计机箱布局，依据各家厂机和之前的设计经验，画出布局草图，如图6所示。

两侧为外露散热器，功放PCB平行于热沉板安装，减小机箱平面面积，有利于散热。变压器前置于机箱内部，电源板在变压器后方正中，音量/音源选择及其直流电源部分置于电源板上方，并施加隔离措施。音量单片机控制和显示屏放在前面板正后方。两侧为VU表头，最外侧是电源开关和编码器音量旋钮。后面板正中位置为220V输入电源插座，两侧为左、右声道扬声器输出端子，上方偏右的位置为三路立体声信号输入RCA。

接下来的工作是要根据散热器厂家的产品目录选择两侧散热器型材的宽度和热沉板的厚度。宽度要满足变压器罩直径、电源模块纵向长度、220V电源插座后面的接线位置、前面板显示屏的厚度之和。外露散热器同时作为机箱的侧板，要

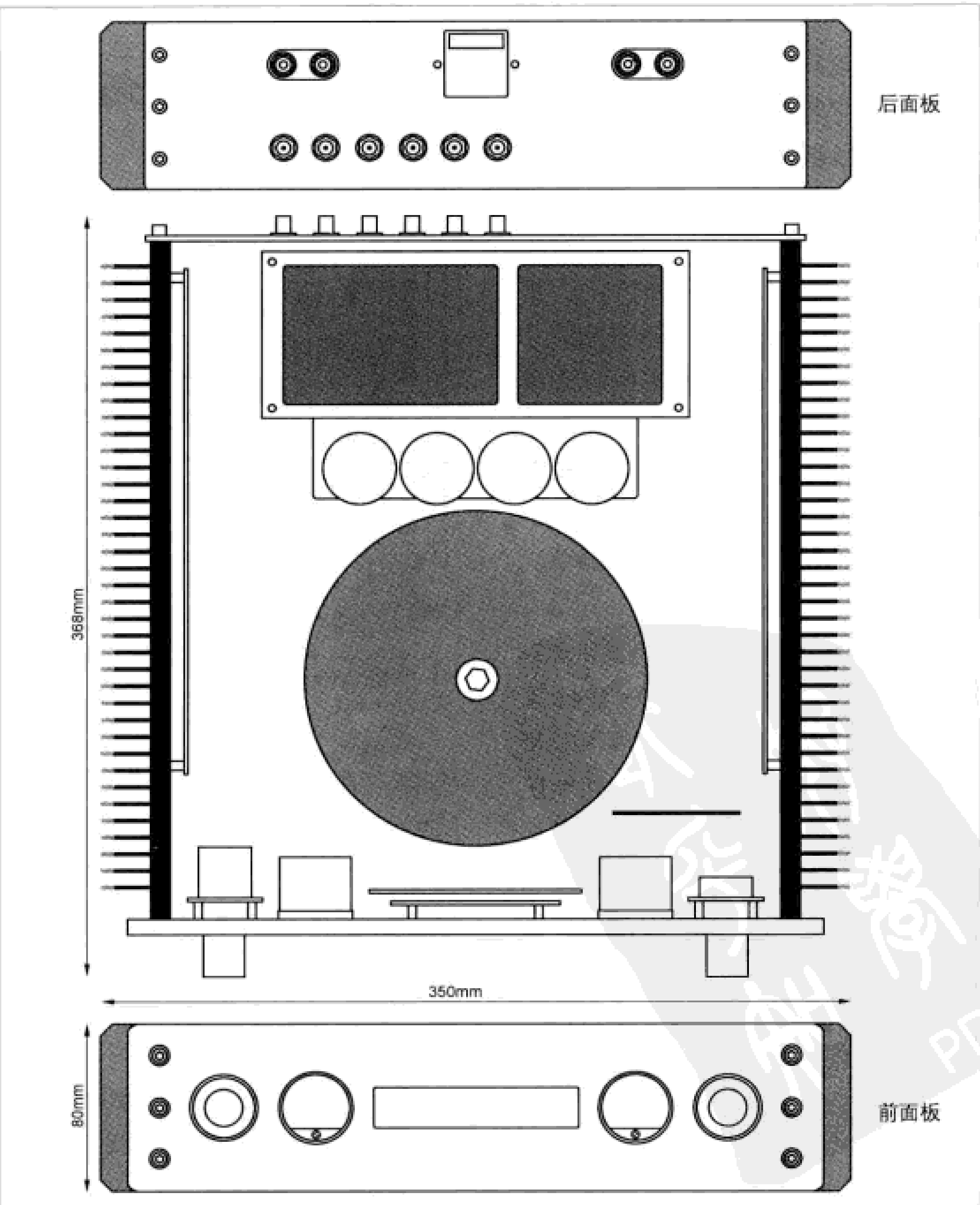


图6 机箱布局

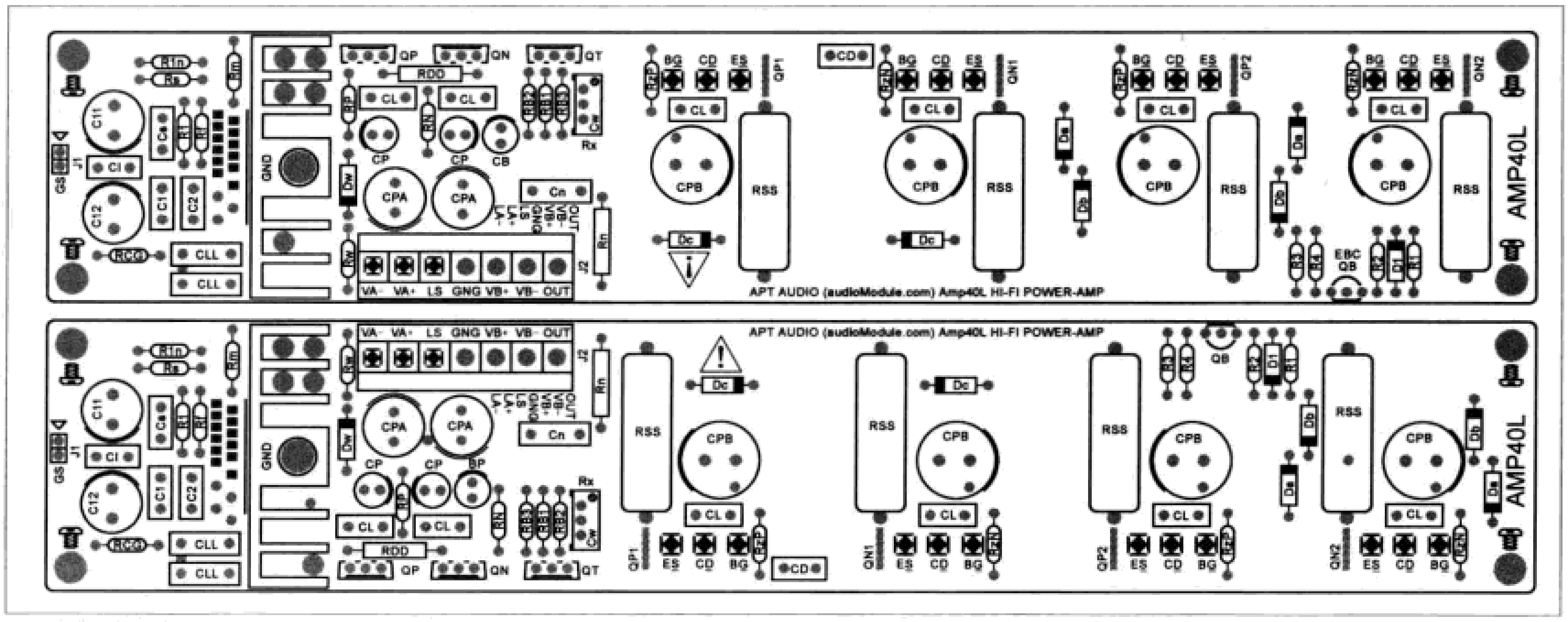


图7 功放PCB布局

在热沉板厚度面钻孔，用螺丝固定底板和盖板，所以厚度也很关键。另外散热器的齿长度也关系到散热效果。

装好散热器后，意味着机箱内深度尺寸已固定下来，然后计算机箱内宽度和高度了。内宽需要同时考虑两个方面，第一是面板集成了5个单元，横向安装尺寸和间距。第二是变压器罩的直径和电源模块横向尺寸，外加两侧功放板高度和安装高度。还要考虑机箱内部走线，需要留有一定的安放空间，避免干扰。机箱尺寸不是一次就能定好的，要经过反复的测算，得出确切数值，力求节约。

机箱的材质方面，我乐于使用全铝质的。金属质感好，表面拉丝处理的效果给人一种别致精巧的气质，另外铝质机箱的一个重要特性就是不导磁，机内变压器漏磁不会延伸。机箱的颜色，尤其是面板色调，我倾向选择浅色，放在客厅中易于与现代家装和谐统一。最终确定用铝原色，当然少不了拉丝处理。除了两侧的散热器用黑色，机箱的另外几个面也用铝原色。

PCB设计

在机箱设计的同时，也开始了PCB设计工作，重点是左、右声道功放和电源模块PCB。两个声道电路板设计成几何对称结构，如图7所示，信号输入接口位置在电路板的一端，重点是电源端口和扬声器输出端口位置，要与电源模块输出端连线尽可能短。驱动管、温度补偿管、大功率管排成一行，另外功率管间距预留可以安装MT200封装的三肯大管。

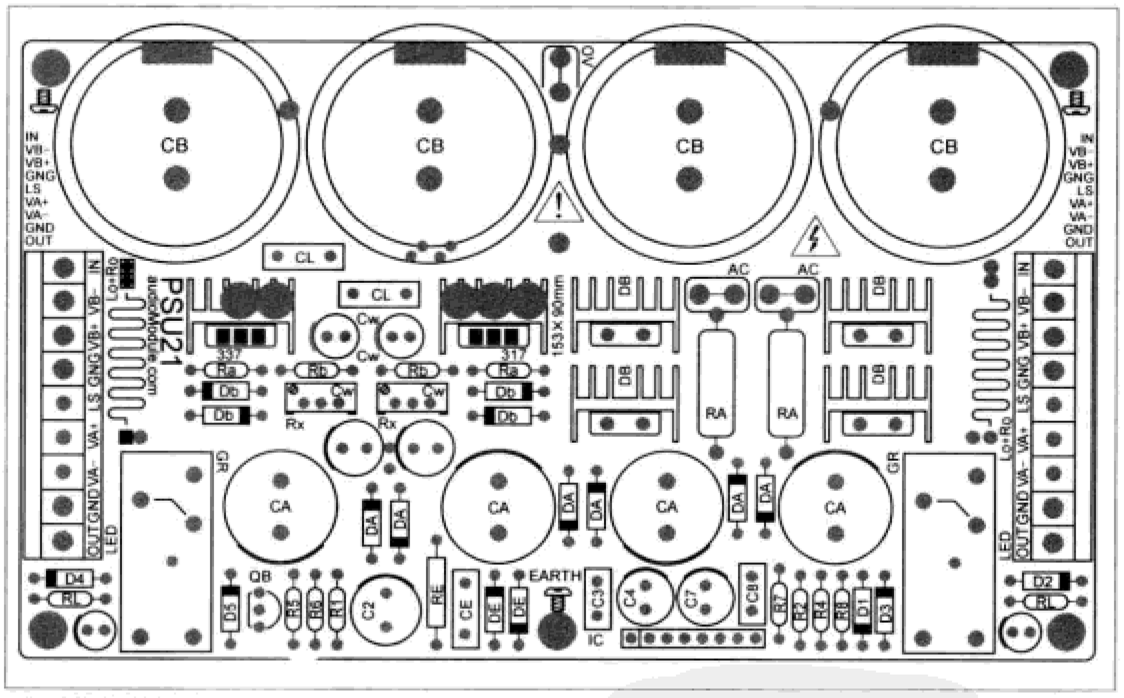


图8 电源PCB布局

输出网络和扬声器保护电路设计放在了电源模块上，功放板的输出口、功率管过流检测口、电源接口设计在板子横向的两侧，如图8所示，并且端口线序一一对应。4只输出级滤波电容一字排开，它们在板子上的高度将是最高的，其他元件安排在另一侧。为的是留下足够的空间安装音量模块。

PCB设计和机箱设计是交叉进行的，比如板子安装孔位，三极管安装孔位等。仔细核对原理图与PCB，核算机箱各部件尺寸后将电子文档发给工厂加工，整个工作告一段落。工厂加工的这段时期，还要定制变压器，计算电路参数，编定元件表，零件清单。

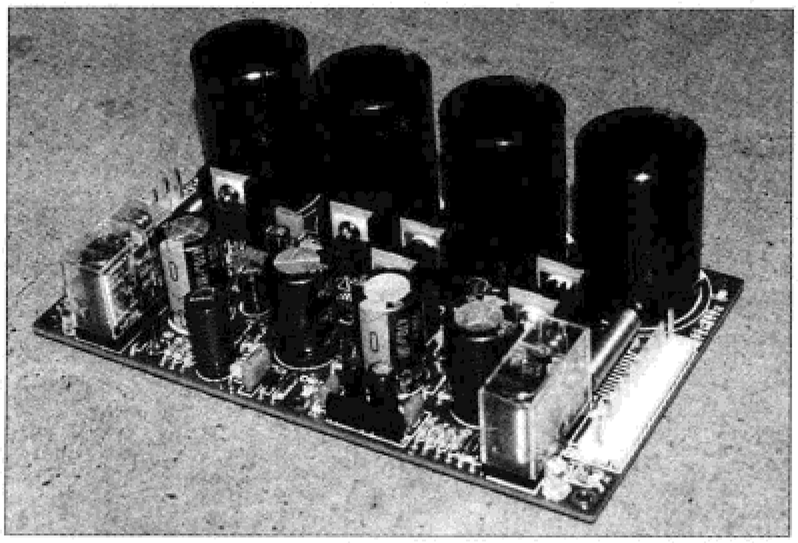


图9 电源模块

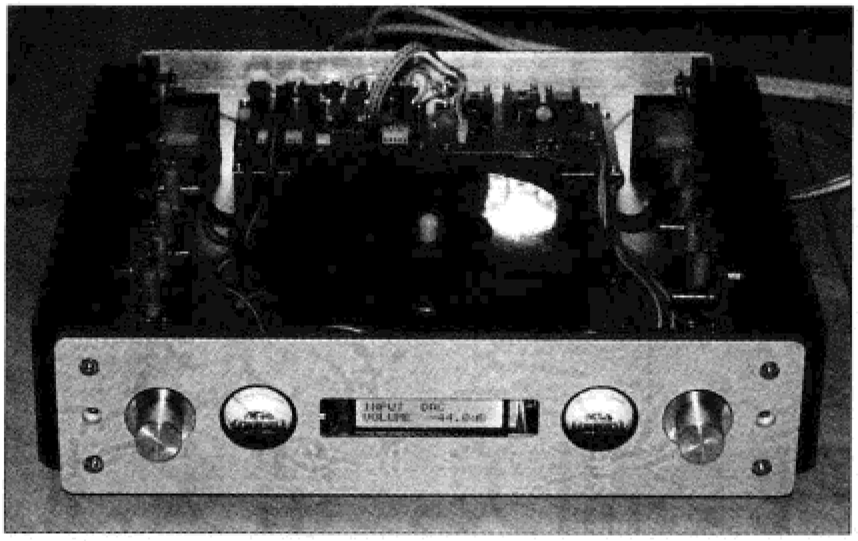


图11 试机中的“A10”

组装调试

两周后，材料陆续齐备，开始安装工作。先是电源模块的焊接调试，装配完成检查无误后，如图9所示，上电测+/-B电压是否对称，调整稳压电路输出电压——由于正负稳压电路采用LM317/337，其输出电压通过调整“Adj”端的电阻值即可改变。输入与输出电压之差在5~40V以内均能正常工作，因此它们可以工作在很高的电压上。合适的电压差可以达到很好的稳压效果，又不会产生过高的温度。

接下来把角垫、环形电源变压器、VU表头驱动板、调整测试好的电源模块安装在机箱底盘的位置。在前面板背后安装电源开关组件、旋转编码器组件、显示屏和单片机板，装好两个VU表头。装配时要小心，不要划伤面板。后面板安装RCA插座、扬声器输出插座、电源插座。

该进行放大电路的装配工作了，焊接好PCB上的阻容元件、LME49830、接线柱后，与散热器配合再焊接驱动级MOS管，温度补偿三极管，输出级大功率MOS管，如图10所示。注意，焊接MOS管应防止静电。MOS管是属于绝缘栅场效应管，输入阻抗非常高，极易引起静电荷聚集，产生较高的电压将栅极和源极之间的绝缘层击穿。在“A10”中使用的驱动级中功率MOS管内部已集成有保护性稳压二极管，而大功率MOS管则没有。不管MOS管内部有无保护措施，在焊接过程中都要注意，不要用手触摸MOS管脚，电烙铁外壳接地，先焊接栅（G）极。焊完后，用万用表二极管（蜂鸣）挡位测量MOS管脚是否击穿短路。

温度补偿电路元件参数除了按照理论计算外，还要根据所选散热器的规格，调整参数取得正确偏置（稳定的静态电流）效果，如果欠偏置则会影响性能，而过偏置会导致烧管。

功放板经过两天的测试后，开始装机配线。由于音量板不带电源，所以先用洞洞板焊接临时电源，待日后重新设计后再为好友换上。

试机中的“A10”如图11所示，开机后，VU表背光和LCD屏幕点亮，音量控制单片机完成初始化，显示音源输入状态和音量值，继电器延时接通扬声器，同时机内与继电器并联的蓝色LED也点亮了。试听期间工作正常，送给朋友后，他很满意这台“A10”。

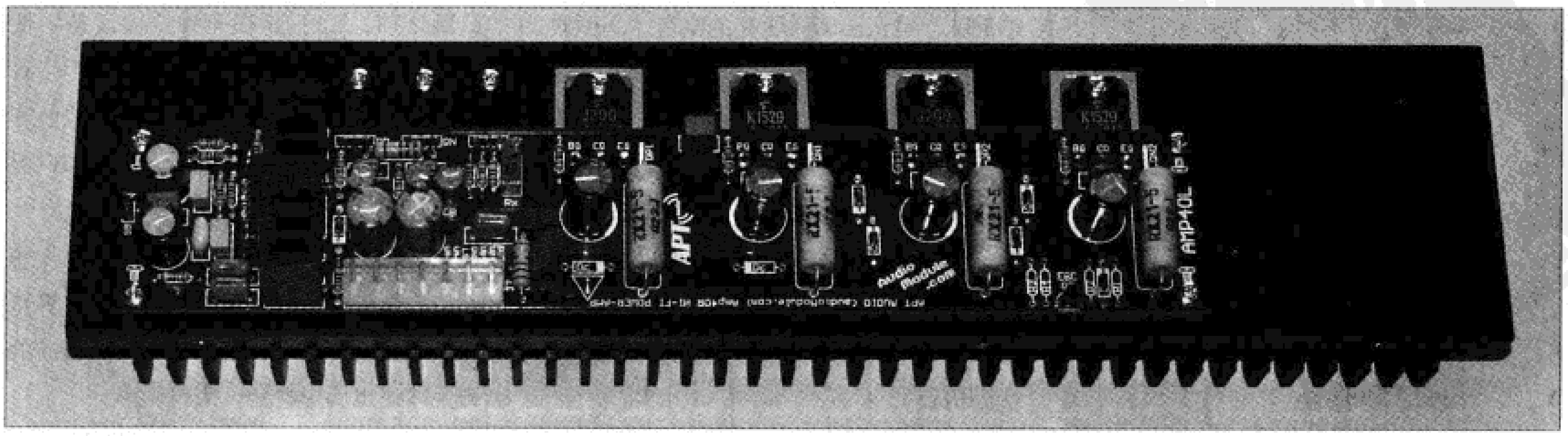


图10 功放模块

◎松贵年

纯真甜美、清爽迷人——一款6J8P前级放大器

在电唱机、磁带机盛行的那个年代，前级放大器的主要作用是将电唱机、磁带机输出的微弱音频信号放大到一定的幅度，并进行频率补偿，使频率响应趋于平衡，再馈送给后级功率放大电路。电唱机、磁带机的输出电平为毫伏级，后级功率放大电路需要伏特级的激励信号，前级放大器在放大系统中发挥信号传递和电压放大的作用，对放大系统音色及各项指标的影响巨大。

在科技日新月异，推陈出新的今天，激光唱机已深入人们的生活，电唱机、磁带机逐渐淡出人们的视线。激光唱机输出的音频信号动态范围大，音乐解析力高，频率范围达到20Hz~20kHz，频响宽且均衡，输出电平高，一般为1.8Vp-p~2.0Vp-p。激光唱机的这些优异性能，使前级放大器失去原有的光芒，有些放大系统甚至将前级放大器取消，用激光唱机直接激励后级放大电路。

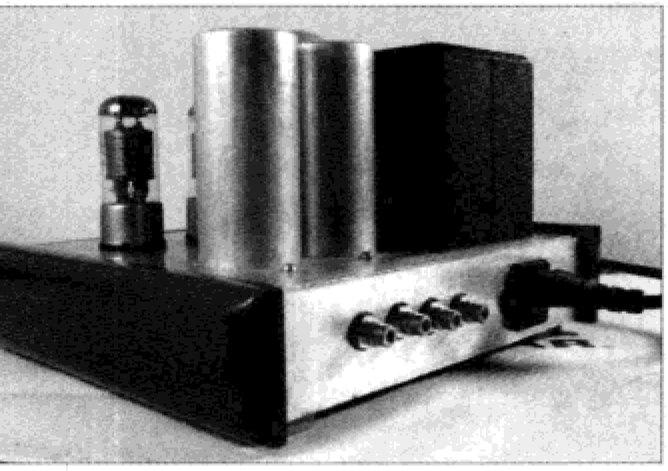


图1 6J8P前级放大器背面布局

在追求高保真、个性化的Hi-Fi领域，前级放大器依然被发烧友看作整个音频放大系统的重要环节，它是发挥个人才华，彰显个性的平台。一款优秀的前级放大器可以起到润色，提高音乐品质的作用，可以使音乐细节丰富，音乐层次清晰，声场更为宽阔，音乐表现甜美纯真。它如同一台调味器，爱好者可以依据自己的爱好，选择放大线路，取舍具有不同风格的元器件，使音乐表现达到自己喜欢的风格。

电子管前级以它独特的风格，浓郁的韵味，营造出清澈明亮的高音，华丽质感的中频，醇厚丰满的低音，激励着无数发烧友强烈的兴趣。世界著名的电子管前级放大器种类很多，笔者接触过的有MARANTZ－7、JADIS JP－200等，这些电子管前级放大器采用高素质的发烧电子管，优秀简洁的放大线路，采用恰当的补偿和适量的负反馈技术，使音乐表现几乎达到极致。

笔者倾心打造的这款6J8P前级放大器如图1所示，本着线路“简洁至上”的原则，重点挖掘6J8P这只国产高品质五极管内在潜力，使其音乐表现发挥到极致。整个前级放大电路由两只6J8P担当，分别放大左、右声道音频信号，该线路信号通道短，能降低潜在的分布电容，减少频段内信号损耗，使频响自然均衡。这款前级放大器胆味浓郁，细节丰富，声场开阔，久听不厌。品茶赏花之时，它是用来听音乐的利器。

胆管6J8P简介

笔者从事中波广播发射工作，因工作需要接触过大量的电子管产品。在广播设备中，6J8P被广泛使用，它对我国广播事业的发展有着辉煌的贡献。在晶体管风靡之前，6J8P是在有线广播设备中使用最为广泛的音频五极管之一。它担当着音频信号电压放大的重任。在广播电台安全播出艰巨任务的背景下，选用6J8P担当电压放大的重任，足见其参数优异，性能可靠，工作稳定。20世纪70年代初期，晶体管产品以功耗小、电路简洁等特点被大量应用之后，这朵昔日声名显赫的奇葩才退出历史舞台，荣耀谢幕。

很长一段时间，我对6J8P有一些误

解，始终没有将其与高保真联系起来，认为它是一只普及于广播领域的音响放大管。直到一次偶然的机会，我看到一款顶级的发烧前级，其音乐表现至真至美，细节表现淋漓尽致，给人一种清爽甜美的感觉，俯身细看电压放大管，上面竟赫然写着“6J8P J”字样，笔者一口气听了几张自己耳熟能详的乐曲，那清爽迷人，舒缓华丽的音乐表现令人陶醉不已，我即刻对默默无闻的6J8P肃然起敬。

6J8P是一只旁热式氧化物阴极锐截止高频五极管，其主要用途是中高频电压放大，是直身扎箍的大八脚管座。笔者手头有不同厂家的几个种类的6J8P，它们个头大小略有不同，有20世纪60年代的产品，也有20世纪90年代的产品。有些制造工艺略显粗糙，加上年代久远，金属扎箍出现锈迹。其中几只1991年出品的全新6J8P，其工艺非常精致，音乐表现素质非同一般。它的基本参数见表1，管脚及电极排列见图2。

表1 6J8P的基本参数

灯丝电压（*V*）	6.3V
灯丝电流（*I*）	(300±25)mA
阳极电压（*V*）	250V
阳极电流（*I*）	(3±1)mA
第一栅压（*V*）	−3V
第二栅压（*V*）	100V
第三栅压（*V*）	0V
跨导	(1.6±0.35)mA/V
最大灯丝电压（*V*）	7V
最小灯丝电压（*V*）	5.7V
最大阳压（*V*）	330V
最大阳极耗散功率（*P*）	2.8W
最大第一栅电阻（*R*）	0.5MΩ

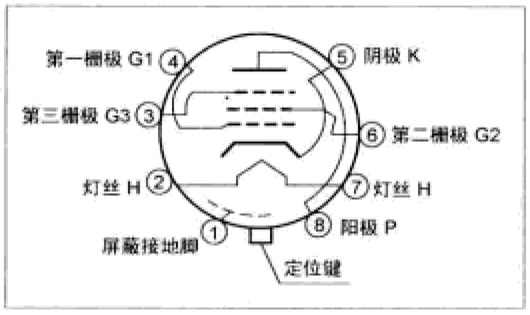


图2 6J8P管脚排列图

放大电路的设计

整机电路见图3，每一声道由一只6J8P完成电压放大任务，采用三极管接法，这种接法使音效层次分明，胆味浓郁，纯真甜美。根据电子管手册给定的6J8P三极管应用特性曲线图，笔者将静态电流取值为10mA，屏极电压取值为125V。由于激光唱机输出信号电平为2Vp-p，为防止产生削顶失真，将阴极电压取值为2.2V。由此求得阴极电阻值为*R*=2.2V/0.01A=220Ω，阳极电阻*R*=（250V-125V）/0.01A=12.5kΩ。阴极电阻不接旁路电容，使电路具有电流负反馈功能，拓宽频响，提高信噪比，减少失真。前级放大器的噪声对整个放大系统的信噪比影响非常大，即便是前级微弱的噪声，通过后级放大电路的放大会形成较大的噪声干扰，严重时会发生干扰噪声恶性循环放大，音频信号将埋没于噪声之中。6J8P的第一脚是屏蔽接地脚，此脚接地可以消除外部电磁场干扰，使极易受到外界电磁场干扰的电子流在稳定干净的电磁环境中工作，有利于提高放大系统的信噪比。由于信号通道短，使用元器件少，电路非常简洁，音频信号保真度很高。

前级放大器静态工作电流的大小，应依据个人风格和信噪比指标做相应取舍。静态工作电流大，音乐表现为胆味浓郁，谐音丰富，密度感强，中低音丰满醇厚，给人以气势雄伟的感觉，但系统底噪声也相应增大。静态工作电流小，高音潺细，如涓涓溪流，音乐细节丰富，层次分明，各种音符娓娓道来，给人以典雅高贵的感觉，系统本底噪声小。权衡以上特点，笔者将静态工作电流设定为10mA，保证低频醇厚丰满、中频甜美有质感，高频清脆嘹亮。

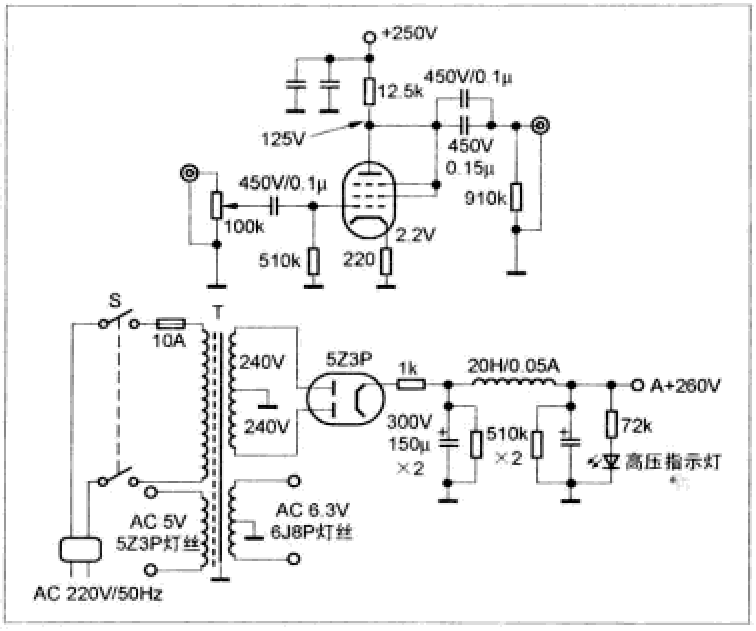


图3 6J8P前级放大器电路原理图

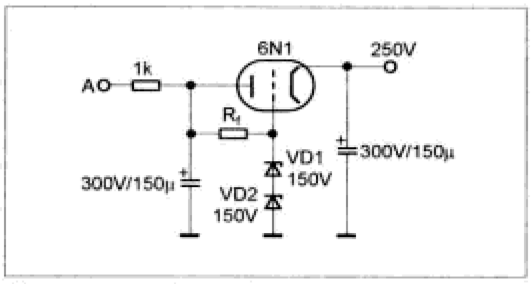


图4 胆管稳压电路

该放大电路是共阴极放大电路，有一定的放大增益。在确定该线路之前，笔者将6J8P电路接为阴极输出，信号由阴极输出，这种接法对信号没有放大作用，在放大系统中扮演传递信号和阻抗匹配的作用，能改善系统音色。这种电路的突出特点是频响宽，工作性能稳定，输入阻抗高，输出阻抗低，失真小。综合考虑，没有采用共阴极跟随器接法，原因是笔者使用的扬声器是低灵敏度、大音圈的放音系统，需要大功率推动信号才能充分发挥其优势；其次，虽然传统的共阴极放大电路会使输出信号幅度发生倒相，但信号保真度依然很高，音乐味很浓郁。

电源电路的设计

前级放大器电源品质与放大系统的音色、信噪比指标关系极为密切。电源变

压器供电功率要充足且保留一定的富余量，变压器一定要采取电磁屏蔽措施，使用金属牛罩切断变压器外泄磁路。电源变压器输出双240V交流电压，经过5Z3P全波整流，产生直流脉动电压，由电感和电容组成的CLC滤波网络，将直流脉动电压滤波为纯净的直流电压。电子管全波整流的音乐效果十分靓丽，整流管选用南京产的电子管5U4G效果更佳。6J8P灯丝由交流电点燃，灯丝绕组采用中心抽头接地的措施降低交流干扰，这种措施对于降低交流噪声效果非常明显。交流供电必然会引入交流干扰噪声，只要采取有效的措施，以优良的制作工艺做保证，这种交流干扰可以控制在能够容忍的范围内。直流供电虽然能使信噪比提升几个等级，但与交流供电相比，音乐表现显得死板，缺乏活跃感，音乐味较淡。

6J8P灯丝电压要充足，充足的灯丝电压是胆管出色表现的基础。笔者将灯丝电压设计在6.8V左右，接近灯丝电压极限值，音质格外活跃，低音丰满动人。灯丝电压超过极限值，会使胆管阴极发射电子的能力加快衰竭，出现未老先衰的状况，所以绝对不能超过极限电压。灯丝电压不足，阴极受热不均匀，阴极各区域发射电子能力不一致，过热区域阴极发射电子能力提前衰竭，缩短胆管的使用寿命。因此，灯丝电压也决不能低于最低电压。灯丝电压低，音乐效果缺乏激情，略显平淡。

阳极直流电压对整机信噪比影响很大，阳极电压必须是一个稳定的值。在室外电压不稳定的地区，交流220V电压发生起伏变化，导致放大电路静态工作点发生变化，音乐效果发生改变。为了解决这个问题，笔者制作一种胆石结合的稳压电路，如图4所示，将直流高压经稳压处理再供给阳极，该电路性能优异，稳压效果立竿见影，扬声器发出的微弱交流哼声一扫而光，背景声音非常纯静。电路采用的稳压管6N1，是一只价廉质优的电压放大管，VD1、VD2是两只稳压值为150V的稳压二极管，调整偏置电阻Rf，使6N1栅极电压为250V左右，阴极将输出稳定的250V电压，这种电路对于信噪比要求很高的发烧友是不错的选择。

元器件的选择及工艺

电阻——选用国产大红袍，该电阻属金属膜材质，性能稳定可靠，音质甜美。

滤波电容——选用国产天和牌电容，它是从一台电子管电视机拆卸的二手产品，品相良好，参数字迹清晰，容量为双150μF，经测试其充放电性能优良。滤波电容不宜用大容量电容，容量大小以能够消除交流干扰声即可，大容量电容会使音乐节奏变得缓慢，音乐表现呆板而无生机，低频浑浊不清。

耦合电容——选用国产CZM系列，该电容属轴向引脚油浸电容，听感清澈甜美，中频富有质感。经过一段时间的煲机之后，其效果才逐渐进入佳境，可与进口补品级电容一拼。

低频扼流圈——选用C型铁芯，电感量约20H，电流为0.05A，这种C型扼流圈使残存在直流高压中的纹波电压更低，提高整机的信噪比。

电位器——选用日本APLAS100K×2，该产品手感好，噪声小，性能稳定，经久耐用。

输入、输出RCA插座——选用纯铜制品，信号线采用拆机的双芯屏蔽线。

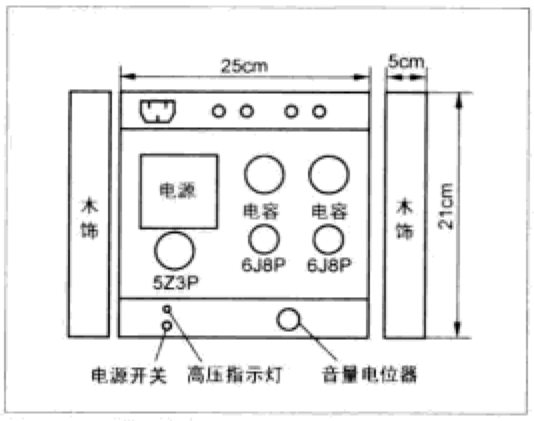


图5 6J8P前级放大器平面布置图

整机线路——采用搭棚焊接，线路走向简洁，信号通道短，失真低，这是该款胆前级好声的基础。灯丝电线相互绞合紧贴底板布线，使交流干扰降到最低程度。

面板和底板——选用5mm厚铝板，用硬质木料做机架，左右两边镶嵌枣红色装饰木，整体视觉效果是古色古香、古朴典雅的风格，其中平面布置图如图5所示。

整机调试与校声

该机制作简单，只要细心认真，成功率很高。不插电子管通电测试，6J8P灯丝电压值应为7.4V左右，5Z3P灯丝电压为5.7V左右，直流高压应为270V左右。插入电子管通电，检查各个元器件有无过热及打火现象，6J8P灯丝电压为6.8V，直流高压为260V左右。面板电源指示灯逐渐由暗变亮，说明高压滤波电容处于充电状态，几秒后指示灯亮度趋于稳定，高压电容充电饱和。测量6J8P阴极电压为2.2V，阳极电压为125V，左、右声道的6J8P尽量配对，使两只胆管阳极电压和阴极电压值相等。

该机线路简洁，放大电路的元器件只有寥寥数只，元器件参数的变化对音质影响很大，好声的基础在于电子管、电阻电容元件的优良性能和合理选取音乐表现的静态工作点。笔者在校声时，将阴极电阻替换为一只2kΩ的多圈可调电位器，调整电位器阻值改变阴极电压。反复调试阴极电压，聆听不同电压时的音乐表现，最终将音乐表现最佳时的阻值锁定，将电位器用一只阻值相等的大红袍电阻替换。

线路测试正常，接入音频放大系统试听，音乐清澈通透，细节丰富，中低音醇厚甜美，低频力度十足，节奏感强。将音量电位器置于九点位置时，笔者的813胆机和大音圈扬声器系统已不再是往日那种无精打采的样子，而是激情四射，欢快活泼，散发出迷人的旋律，充满着无限生机，令笔者耳目一新。

玩转老功放之中高端产品篇 上

◎梓门

决定功放性能的因素有很多，对这些要素的把握与折衷取舍，最终是由设计者决定的，这里的设计者很少是指某一位工程师，而多半指的是一个设计团队。很多中、高端产品之所以在长期的发展过程中形成了自己的风格，并不在于电路的设计、材料以及产品的生产与制造等过程，而在于设计者。前者就像建造一座大厦的建筑设计规范、砖石水泥、建筑队，后者就是建筑设计师了。总之，人的因素在起决定性的作用。

一款好的产品，仅仅有好的电路设计、生产管理、市场策划与营销是不够的，市场的口碑积累更为重要。任何一种器材都需要和别的器材搭配，还需要有足够的人群去评价以求得近乎客观的结论，这就需要时间。换言之，一间新开的工厂，既便是高薪聘请了业内最知名的设计师和最专业的管理策划公司，并且有雄厚的资金、现代化的生产厂房与设备、能够设计和生产出来当前测量仪器可以检测的骄人指标，那么把它称之为物美价廉的好产品，并不为过。如果称其为Hi-Fi甚至Hi-End，就有些不靠谱了，只拿技术指标为标准进行评价，是不合理的。只有经过时间检验的产品，才能称得上是好产品。

就音频放大器而言，在所有的日系品牌中，Denon（俗称“天龙”）、Marantz（俗称“马兰士”）、McIntosh（麦景图）等都曾经是圈内知名的Hi-Fi音响品牌，但是他们当中坚持到现在继续做Hi-Fi产品的，基本上就剩下McIntosh（麦景图）了，其他的品牌大都变成了生产新潮产品的大众品牌。

既便是20世纪70年代的产品，笔者也是无福消受那些高档和中高档的产品，也就只好拿中档的产品来满足求知欲了。Denon公司的PMA-500合并式功放就是中档产品中的一个代表产品。

表1 20世纪70年代的三款合并式功放

型号	制造商	上市年代	首发价格（万日元）	淘宝网参考价（元人民币）	标称连续额定输出功率(每声道，8Ω，THD=0.1)	频率响应（+0，−1dB）
PMA-500	DENON	1973年	7.5	600左右	37W(双声道状态，下同)	10Hz～40kHz
AU-9500	SANSUI	1972年	13.5	3700	75W	3Hz～80kHz
CA-1000	YAMAHA	1973年	9.8	600左右	70W (B类)/15W (A类)	10Hz～100kHz

Denon PMA-500概述

何谓中档产品？首先是价格，其次是购买者的数量，购买的人数多了，就说明厂方的定价被消费者接受了。

如何确定这两个因素？要确定首发价格（产品上市时的市场建议零售价），就到相关网站上看一看，然后经过多方验证，是能够大致确定的。如果查无此物，这款产品就要在心中打个问号了。要确定数量，就上卖二手产品的网站看看。如果卖该款产品的人很多，甚至卖它的维修技术手册的人也多，自然说明当时这款机器的销售量大，总不能说没人要的产品被消费者接受了吧。最后就是玩家公开的使用报告，当时的玩家或者现在玩二手的玩家。当然，前者更可信，因为它能流传至今，本身就能说明其受欢迎程度。

在评价20世纪70年代的日系功放时，玩家归类了同一档次的产品，给出了各个产品的相关信息（见表1）。

PMA-500（见图1）的型号是没有后缀的，如果有A、AE、V等后缀，那就是后来生产的产品，与这个产品不同。当然，能发展为一个系列的产品，也能够从侧面说明DENON这款产品的商业设计是成功的。与PMA-500相近的，还有PMA-700，型号也是没有后缀的，如果有，也是后来的产品。或许是价格的原因，PMA-500的玩家评价和维修记录是比较多的。

虽然价格最贵，但AU-9500的风格有些麦景图的味道，日本玩家的评价和相关维修记录都很多，但是国内二手市场上却并不多见，或许也是价格的原因。因为卖家少，表1中的二手价格就偏高了，估计合理的价位应该在1000元人民币左右。

CA-1000也是没有型号后缀的，可以进行A类与B类（并非纯粹的B类，与现在的AB类近似）转换，型号带有后缀的

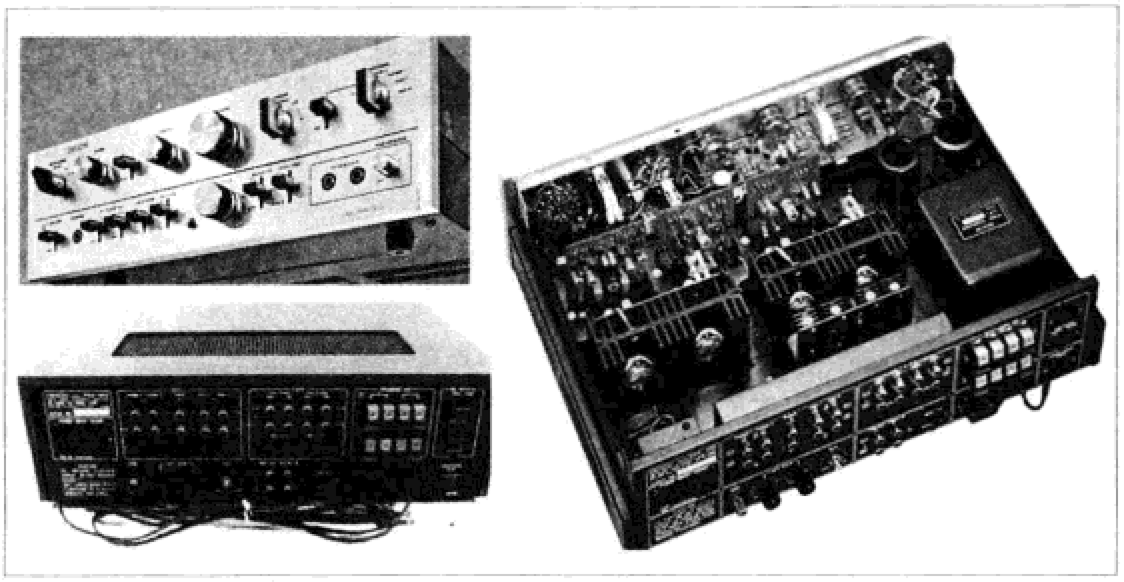


图1 DENON PMA-500的实物照片

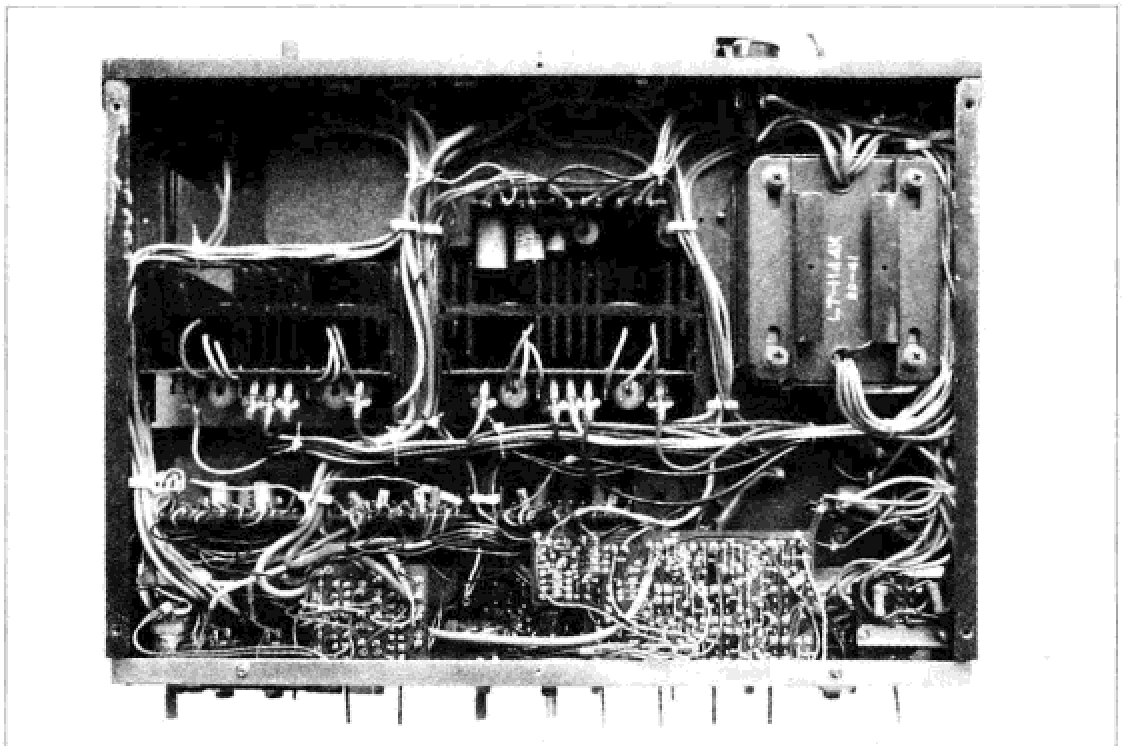


图2 DENON PMA-500机箱的下层

也是后来的产品，以罗马数字标识，如CA-1000 Ⅱ、CA-1000 Ⅲ，有些卖家称之为二代、三代的。YAMAHA的音频放大器产品，20世纪90年代之后逐渐淡出了主流市场，CA-1000的相关信息因此也就显得有些少了。

三者的首发价格相差不少，将它们列为同一档次可能并不公平。但是经过时间的检验，从纯粹的声音表现来看，差异并不是很大。笔者刚好以合适的价格拿到了DENON的PMA-500，也就以其为例进行说明。

1. 框架结构

20世纪70年代的机壳似乎是偏爱厚钢板材质，已经介绍过的SONY TA-1150/D就是这样。DENON的作法更甚，机箱被分成了两层，主要的构件都在上层，下层主要用来走线，也包括音调电路之后的线路放大电路的电路板。线路板有平放的，也有竖放的。从实物来看，竖放的电路板更有利于防尘，PMA-500则是为了内部结构布局的需要。机箱的上下两层之间用开孔的钢板隔开，这块隔板也是竖放的电路组件的固定板，其中变压器也固定在这块隔板上。

图1中所示的后排竖放电路板其实是带有一个整体的屏蔽罩的，因为PMA-500的上盖板不是金属的而是木质的，屏蔽罩可以起到屏蔽的作用。紧贴后面板RCA端子所处区域的机箱内侧也同样可以看到屏蔽罩，变压器有单独的屏蔽罩。

下层的照片（见图2）是笔者实拍的，这张照片是去掉了前面的铝质面板后拍摄的。竖放的电路组件的一部分在这一层，以便于引线的引出。较大的电路板便是线路放大板（见图3），很小的一块是录音信号转换板，上面主要是两个转换开关。图3所示的右图中有两个个头明显大一些的电阻（碳膜电阻）的开关就是电源开关，不过需要注意的是，与电阻相连的开关并不是市电开关，而是与之联动的放电开关。与开关靠在一起的、左侧不起眼的行程开关才是真正的市电电源开关。

2. 模块式电路架构

将整机电路分成相对独立的几个部分，这就是模块式架构。从图1中也不难看出大致的情形。前面板里侧是音调电路，紧挨着的三块小一些的、竖放着的电路板，从左至右分别是动磁唱放（采用MM唱头的黑胶片唱机的唱头前置放大器）、话放（话筒前置放大器）、动圈唱放（采用MC唱头的黑胶唱片唱机的唱头前置放大器），再往后，带有形状相同的大型散热器的电路板是两个通道的功率放大器（见图3中右图），挨着其中一块功放板散热器的、有四个小型散热器的是电源板。在机箱的底层，还有一大、一小两块电路板，大的是线路放大器（见图3中左图），小的是录音信号模式转换板。剩下的就是各种转换开关以及基于搭棚焊的连线了。

3. 一点接地

PMA-500内部的连线多，黑颜色的占

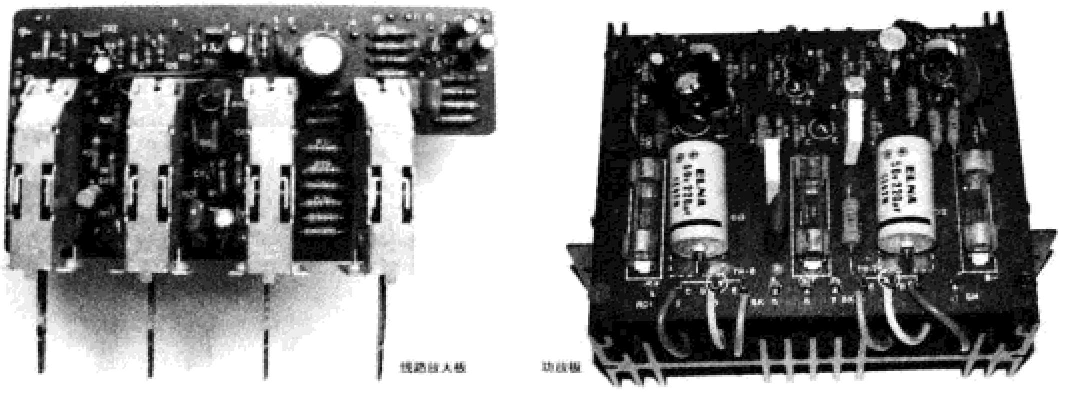


图3 DENON PMA-500的线路放大器板（左）与功放板（右）

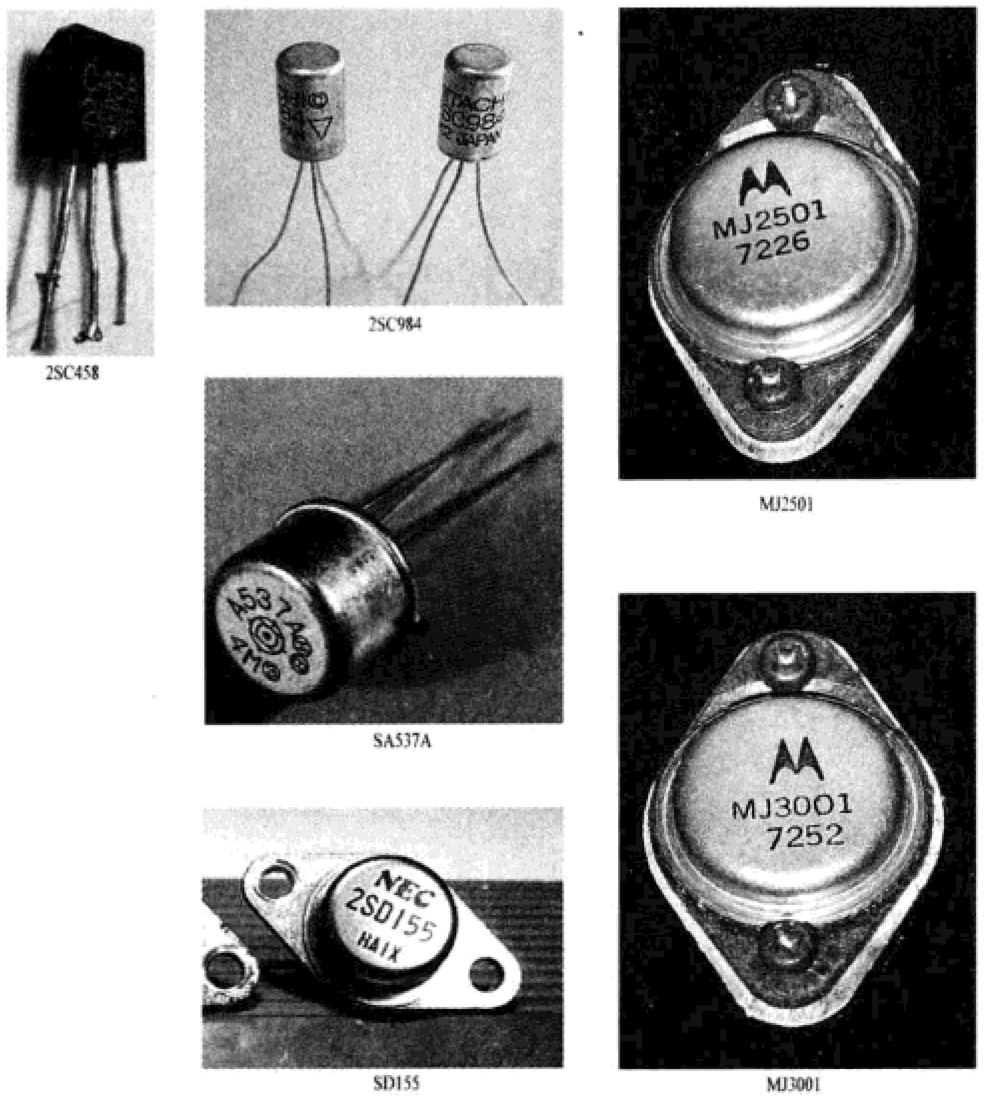


图4 PMA-500中用了不少金封的晶体管

了很大的比例，这些黑色外皮的导线，有粗有细，均为地线，最终汇集到了两个主滤波电容的接地端和机壳接地端，二者是通过只有5cm长的编织带导线连接在一起的，即细导线编织的扁平带子，阻抗与电阻的阻值都能低到可以忽略，因此二者可以视为一个接地点，只是为了扩大地线汇集点的面积而为之。这就可以视为“一点接地”了。

“地”是放大器内部的电位参考点，但是放大器的很多部位都需要接地，并不是“一点”，这些参考点就需要用导线连接起来。但是这些导线是有电阻和阻抗的，有些时候可以忽略，有些时候则不可以。要将其忽略，其中一个办法是，选择一个共同的点，将每一个需要接地的点都用单独的导线连接到这一点上，这就是“一点接地”。因为接地点众多，实际上很难实现，因此通常的方法，放大器的某一个局部或者同一功能单元的电路，如果不同的“地”之间不出现干扰，就可以视为一点，先将这些点汇集起来视为一点，然后将这个点与总接地点连接起来。

在非常复杂的电路中，因为接地点实在是太多了，上述方法仍然不适用，通常的方法是，在采用多层印制板时，单独设置 1 层甚至多层为地线，这时候的地线从形状上来看，就是一个“面”而不是“线”了。双层印制板，通常会将其中一层的大部分设置为“地”。这种接地方法在 PC 板卡上非常常见，几乎无一不用。在音频放大器中，这种方法也有普及的趋势，尤其是数字电路更是如此。关于接地，在电路原理图概述中还要进行一些说明。

4. 基于分立元件的简洁电路

在DENON 的产品系列里，PMA-500可能并不属于中档产品，而是属于低档或者中低档的产品。理由是它的电路太过简单了，前级电路只是单电源供电的单端电路，功放电路是典型的OCL电路，这两部分电路的形式也非常简单。整机全部由分立元件构成，信号通道的晶体管，除了输出级，全部是日立的产品，小功率管全是老款的2SC458，1969年到1970年间的产品，虽然不是常见的TO-92封装，但也是相似的（见图4）。输出级是摩托罗拉的达林顿对管MJ3001/MJ2501。功放板上除了TO-3封装的输出级晶体管，推动管与偏置管也是金属管壳封装的，并且有散热器，这只是当时的技术现状，也显不出高档来。

DENON PMA-500的主要电路原理概述请见下期。

起居室中的Baja遥控小车

◎约翰·姆顿　◎译言译

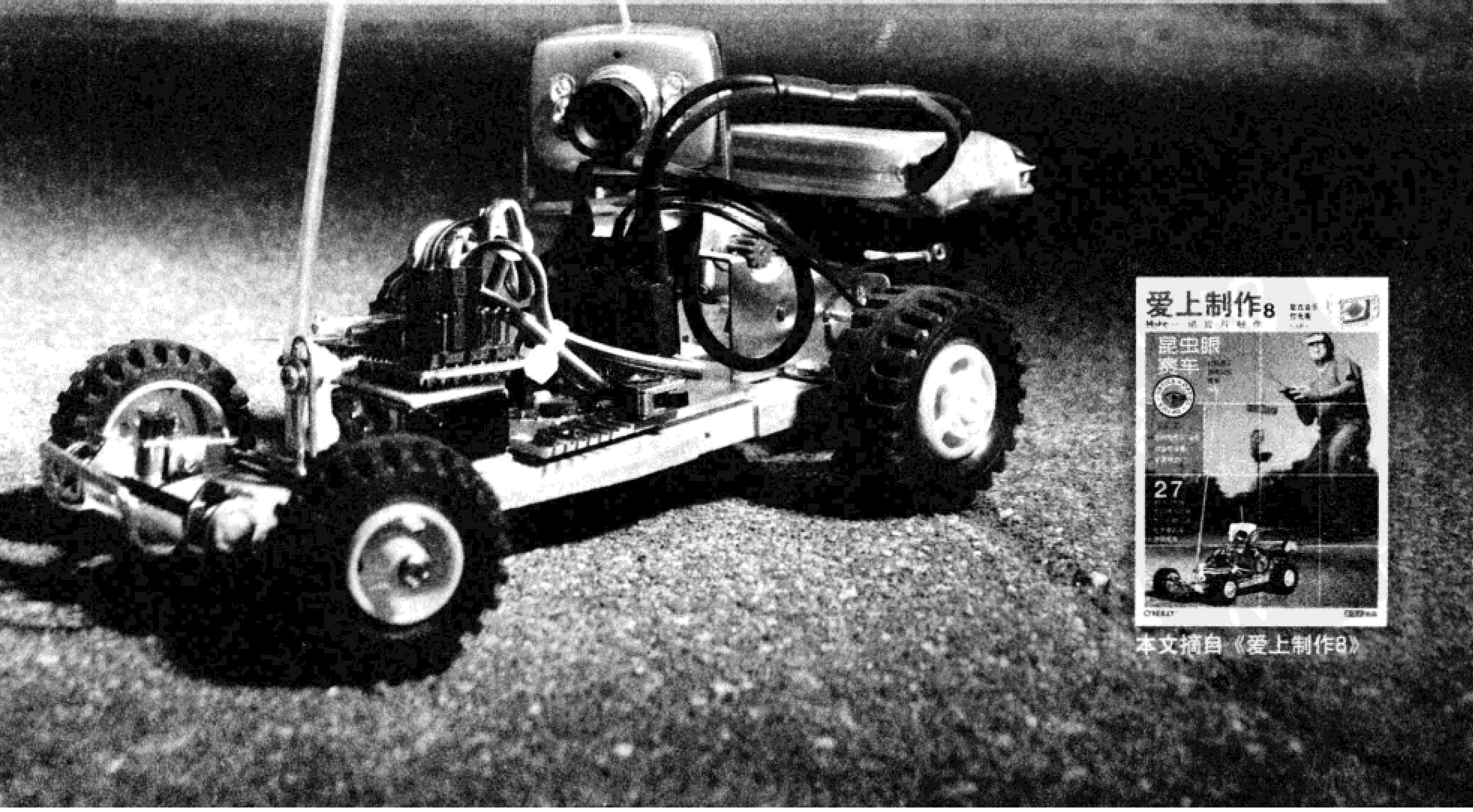
虫眼视角

搭载无线摄像头的遥控赛车，让你实现虚拟现实远程监控。

你喜欢玩无线电遥控（RC）赛车吗？你是不是喜欢沙漠，又讨厌高温？好啦，加入“卧室Baja遥控车大赛”，一切烦恼都不会再有。参赛车辆是自家组装的无线电遥控赛车，赛场位于物美价廉、温度随意的仿真沙漠地面。没有车赛规则，没有昂贵设备，更不必担心公众安全（车身仅15cm长、10cm高）。

你驾驶时甚至都不用看车身，车载摄像头和虚拟现实头盔让你安全到极限。

同小狗追逐，与小孩赛跑，或者干脆接到计算机上，记录虫眼视角的全程赛况，这绝对是宅男的最佳户外体验。



本文摘自《爱上制作8》

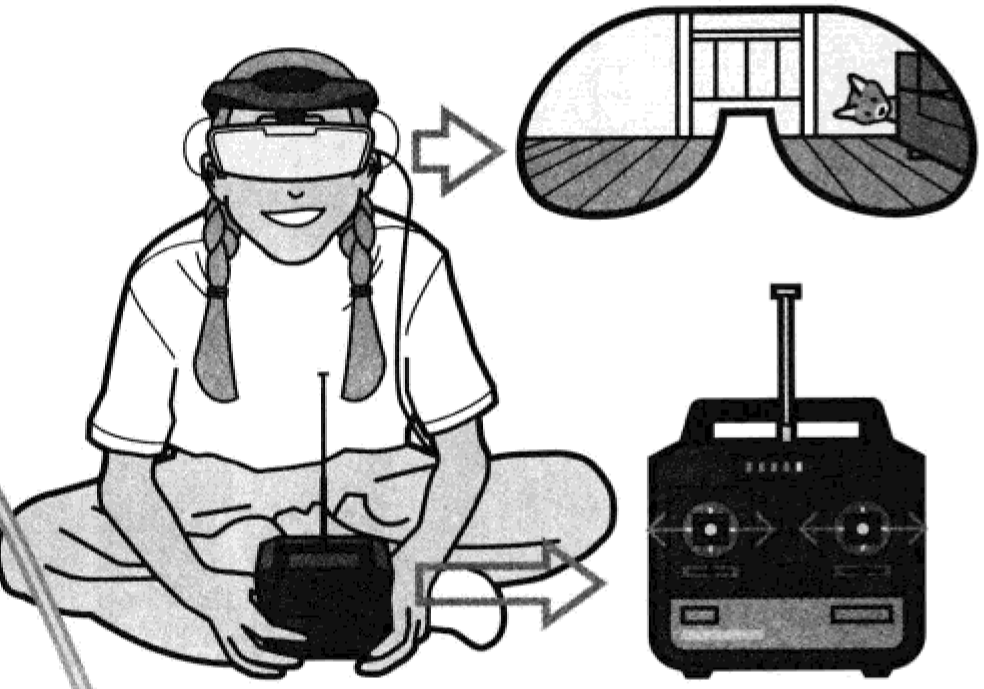
遥控指令、微控制器和迷你虚拟现实

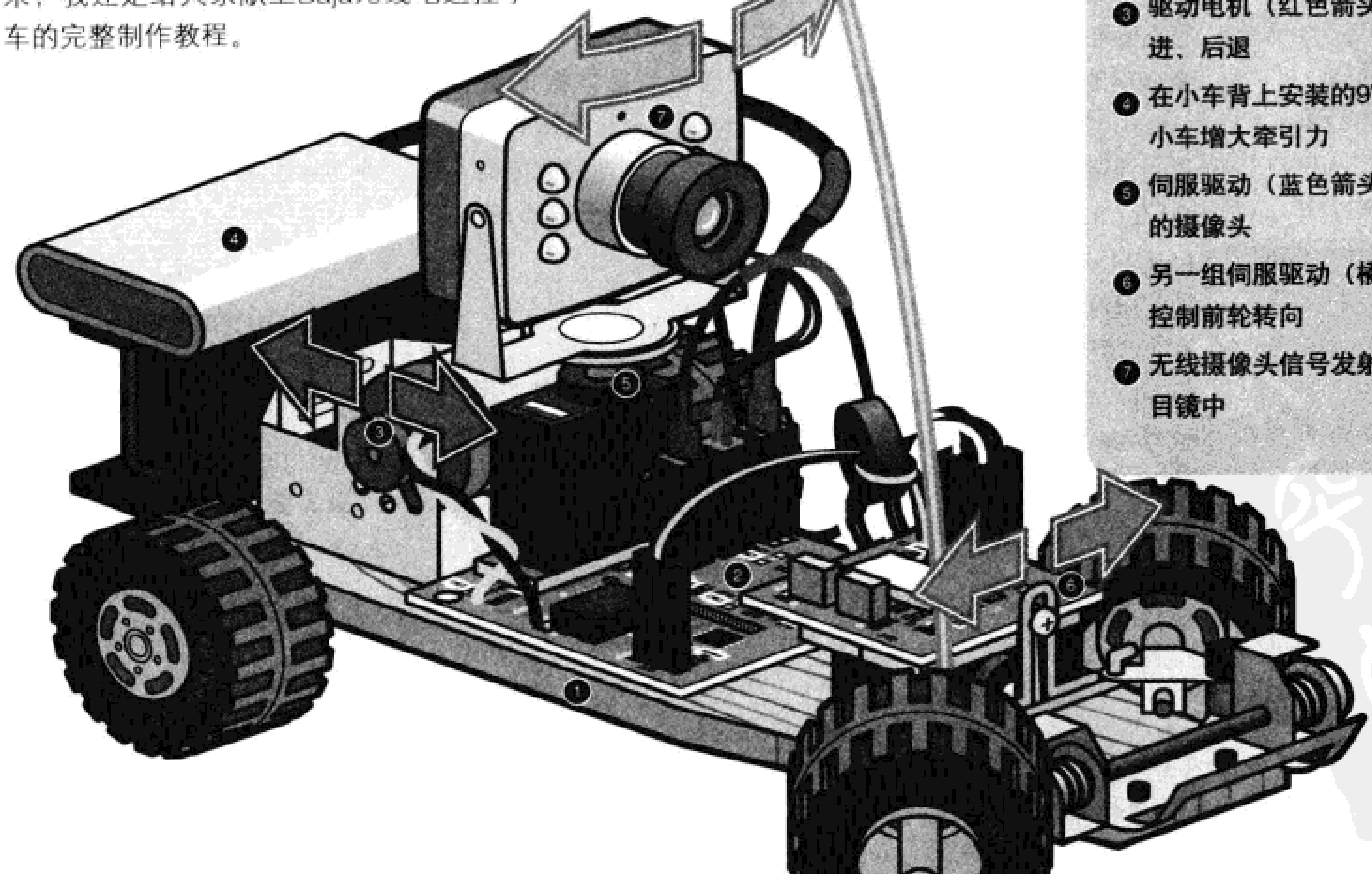
在这个项目中，我们将制作能够以车内视角驾驶的无线电遥控Baja小车，玩起来仿佛置身其中。操控者（你）只要带上虚拟现实眼镜，手持遥控发射机，配合车载无线摄像头，就能实现这一切。

首先，我设计了一个简单的电动机驱动电路、一个稳压电路以及基于PIC12F683的单片机电路。这样，我就可以让小车前进、后退、刹车以及变速行驶。我把电路原理图和Gerber文件（译者注：一种用于制作印制电路板的文件）送交工厂。拿到印制电路板之后，我又将电子元件一一焊上。

电路做好之后，我从网上购买了其他零部件，完成整个制作。小车的试运行表现非常好，甚至有点出乎意料。

之后，我又装上了无线摄像头和VR眼镜。现在我躺在沙发上不动，也能开着小车满房间跑。不加装无线摄像头和VR眼镜也没有关系，制作成本更低，车身也更轻巧，而且依然很有趣。不管怎样，接下来，我还是给大家献上Baja无线电遥控小车的完整制作教程。

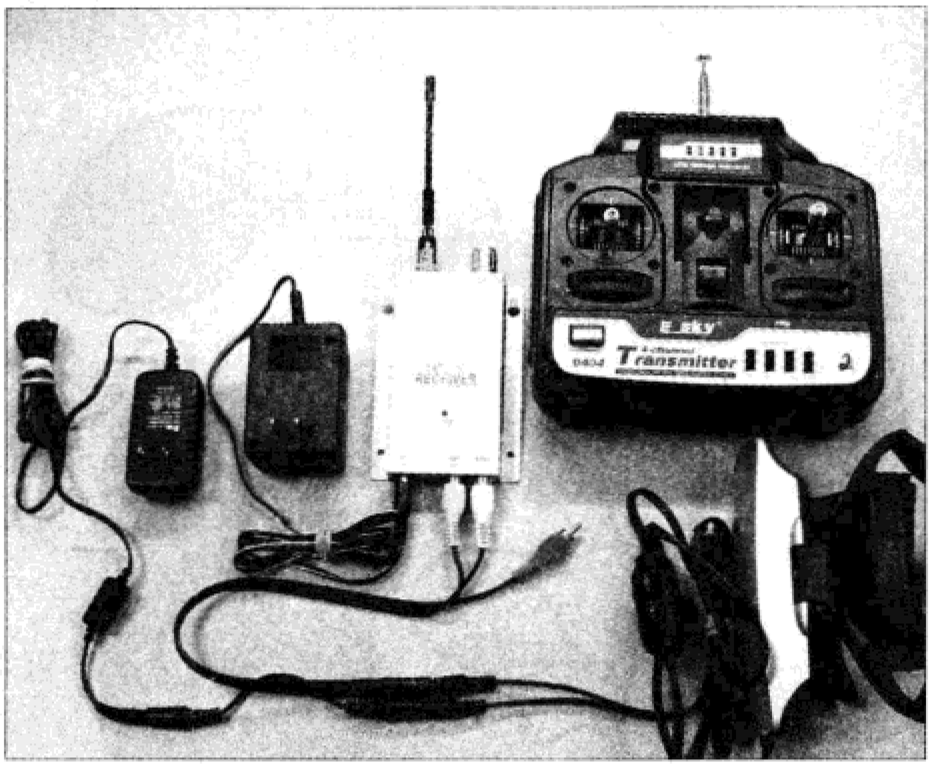


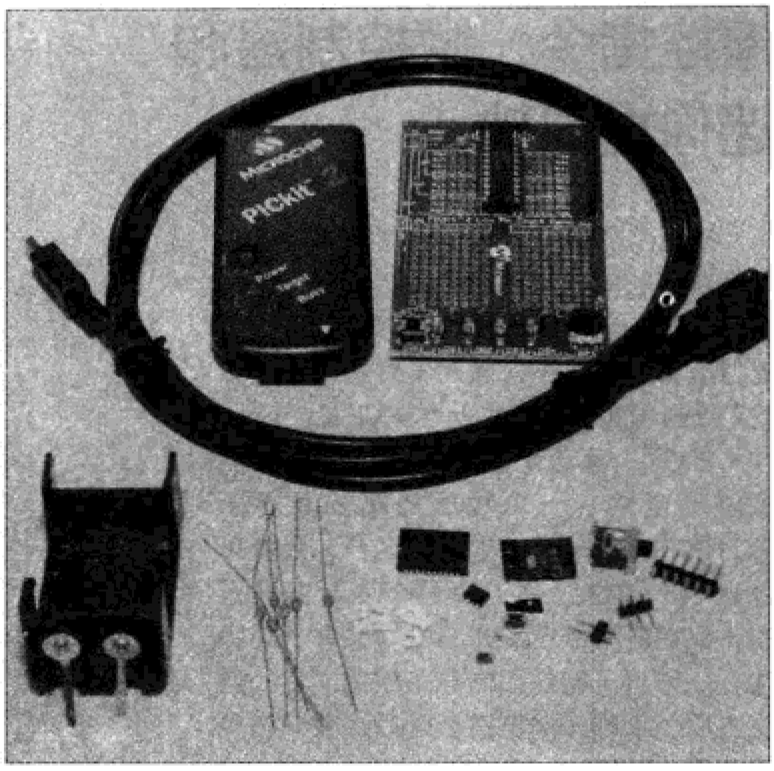


工作原理

1. Baja遥控车是基于田宫（Tamiya）遥控车底盘套件制作的
2. 电机控制电路是基于自定义印制电路板制作的
3. 驱动电机（红色箭头）控制遥控车前进、后退
4. 在小车背上安装的9V电池和锂电池给小车增大牵引力
5. 伺服驱动（蓝色箭头）用于控制背部的摄像头
6. 另一组伺服驱动（橘黄色箭头）用于控制前轮转向
7. 无线摄像头信号发射到VGA虚拟现实目镜中

准备





材料

◆无线摄像头以及调谐机/接收机。

◆你需要一个9V、300mA直流电源、900MHz的A/V安全监控摄像头，请访问tigerdirect.com和outpost.com，两者都是商品很多的网络商店。

◆VGA眼镜：任意无线兼容的名牌或者一般设备。Amazon.com和tigerdirect.com有售。

◆Tamiya无线电遥控车底盘套件#70112，tamiyausa.com有售。

◆Tamiya直流原子（Atomic-Tuned）电机#15215

◆E-Sky EK2-1003型4通道无线电系统。包含发射机、接收机以及一个伺服电机（微型），可用类似系统代替。

◆E-Sky EK2-0500型伺服电机，用于控制摄像头。

◆双叶FM75.470MHz、64频道晶体振荡器，多辆小车在一起时，可以在75～76MHz选择不同频道，以避免信号冲突。

◆Thunder Power牌锂聚合物（Li-Poly）1320mAh/7.4V，2芯充电电池，用于电机。

◆9V电池，用于摄像头供电。Apache2020型智能充电器，用于锂聚合物电池充电。

◆Electri-Fly 2脚公头接插件#GPMM3106，用于所有电池、摄像头以及充电器连接。

◆带S型公头连接线的伺服电机，towerhobbies.com有售，型号为#LXPWB5。

◆S型公头接插件，用于伺服电机连接线，型号为Tower#LXPWC3。

◆铁氧体磁环，用于无线电控制，deeteeenterprises.com #K10031TA。

◆电池夹，digikey.com，型号为#1294K-ND。

◆3/8英寸4号十字头螺丝刀，4号平垫圈，以及4-40钢制六角螺帽，用于固定连杆。

注：无线发射机、接收机、伺服电机和晶体振荡器，在hobby-lobby.com和robotstore.com有售。电池和充电器，在rctoys.com和electrifly.com有售。

工具

◆PICkit 2新手套件，用于编程，microchipdirect.com有售。

◆无线或者交流电钻，适合铆钉直径的钻头。

◆穿孔器

◆烙铁和焊锡

◆双面胶

◆砂纸

◆计算机

◆大小十字头螺丝刀

◆剪钳、模型美工刀、剪刀

◆手持铆接工具

◆热缩管

◆热风枪或电吹风

◆剥线钳

◆尖嘴钳

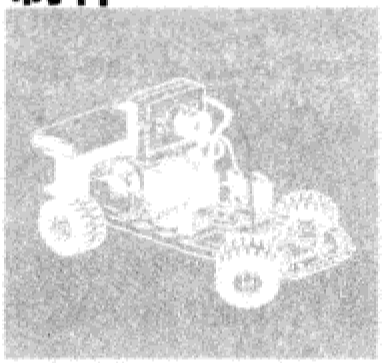
◆仿真沙漠地形

下载

请下载PIC单片机的Baja小车电机驱动程序*carprogorig.hex*，以及Geber文件。再到makezine.com/14/bajabuggy下载完整元器件列表。

注：制作总共花费400美元，但如果我不买VGA眼镜和摄像头，就只要200美元：遥控器材145美元，PCB和电子元器件共30美元，遥控车套件和电动机共20美元（我订了10块PCB，每块只要12美元，但如果只订1块就要50美元）。

制作



制作一台你自己的 Baja虚拟现实遥控小车

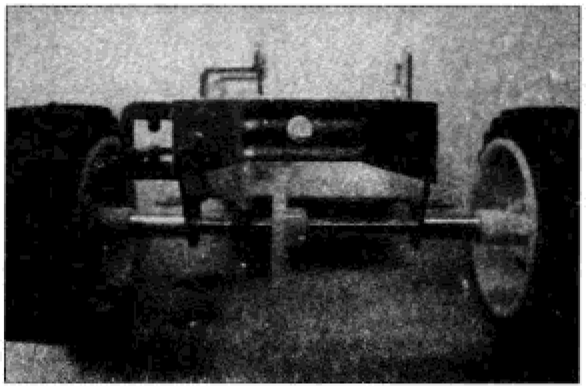
开始>>

时间：4~5小时　难度：中

1. 搭建小车底盘

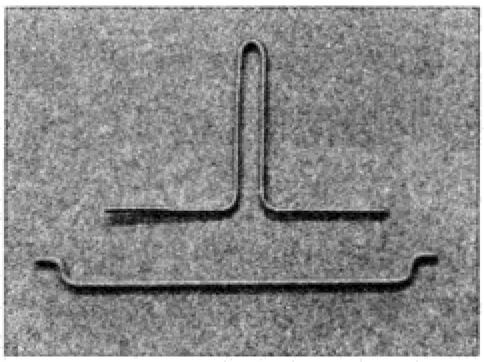
1a.按照小车说明书第3部分组装Tamiya遥控小车底盘套装。

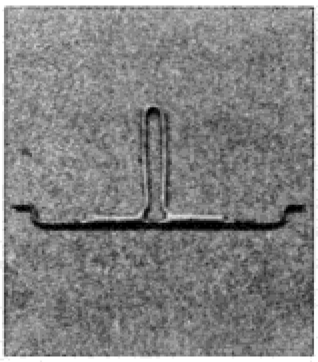
1b.在小车的电机/齿轮箱上钻一个小孔。接下来会在这里安装9V电池夹。在铆钉上钻一个相同大小的孔。



注：打孔前先用穿孔器预钻，再用优质尖钻头打孔，这样可避免钻头在金属表面打滑而误钻。

1c.改装小车连杆。将一根16号铁丝弯成下图中的形状，中间高2.5cm，两侧截至与连杆长度相近为宜。再将两者焊接在一起，这样伺服电机就能通过悬挂带动连杆上下左右运动，控制小车方向。





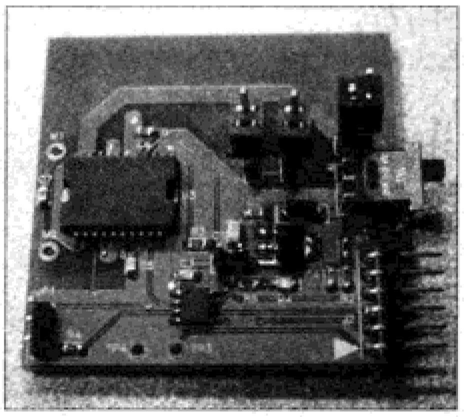
1d.在电机的两个引脚上，各用一个0.1μF电容和24号导线焊接到电机外壳。再在引脚间焊接第3个0.1μF电容，这样可以避免电动机对接收机电路产生噪声干扰。

1e.按照小车说明书第6部分安装小车轮胎。不要安装保护杆，否则会挡住摄像头、伺服电机和电机控制电路。

2. 搭建电机控制电路

2a.准备好印制电路板。我将原理图和Gerber文件电邮给Circuit Express（circuitexpress.com），这些文件在makezine.com/14/bajabuggy都有下载。我选了相对便宜点的套装，120美元做10块板，24小时之内就收到他们寄来的成品了。其他厂商的小量订购还会便宜点，或者你也可以自己动手做PCB。

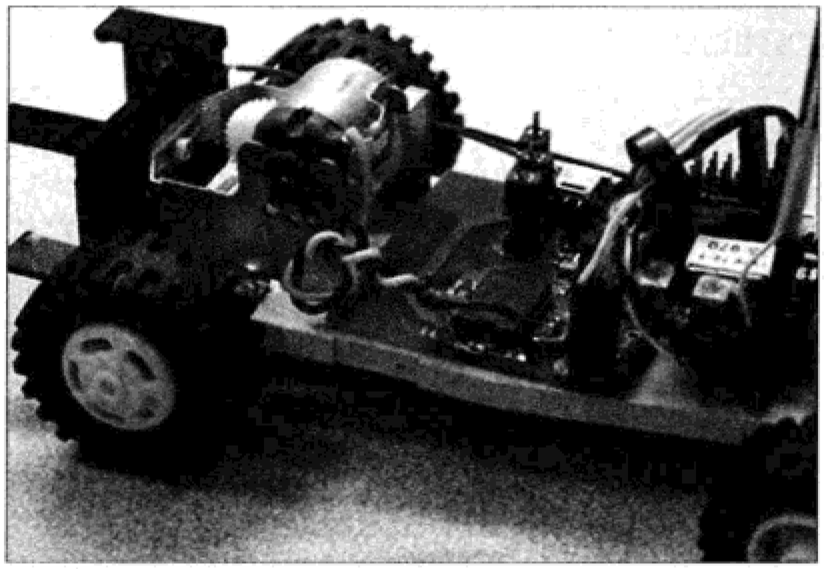
2b.安装电路元器件。电机驱动电路所有电子元器件都可以在Digi-key（digikey.com）或者其他电子元器件供应商处买到。电池、摄像头和充电器的连接，我都选用了ElectriFly的2脚公头接插件，确保安全可靠的连接。单片机我选用PIC12F683，因为自带脉宽调制（PWM），用起来很方便。焊接好之后的完整电路如右图所示。安装过程请参考原理图，makezine.com/14/bajabuggy有元器件清单。



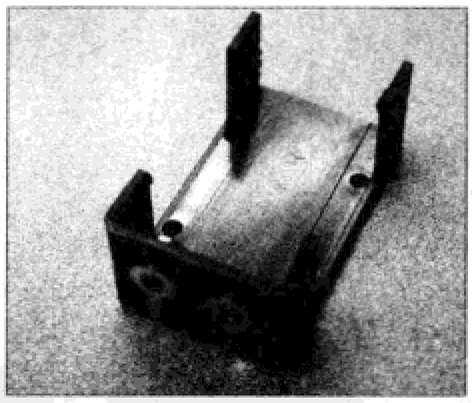
3. 安装电路、电池夹以及伺服电机

3a.焊接电机引线之前，将它们绞在一起，这样可以减少电磁噪声干扰。再将它们焊接到电路板上标有M1和M2的焊盘上。

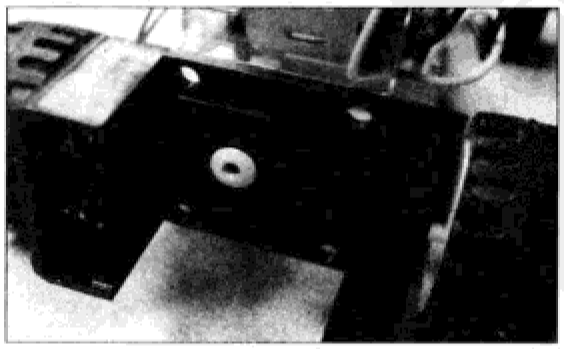
3b.用一小片双面胶，将电路背面完全粘在木质底盘上，以便靠紧电机/齿轮箱。



3c.安装9V电池托架。首先用砂纸打磨掉电池夹底部约1.5cm。这样可以让电池接触更充分，也能让电池夹自行在后轮间找到个均匀宽敞的位置。

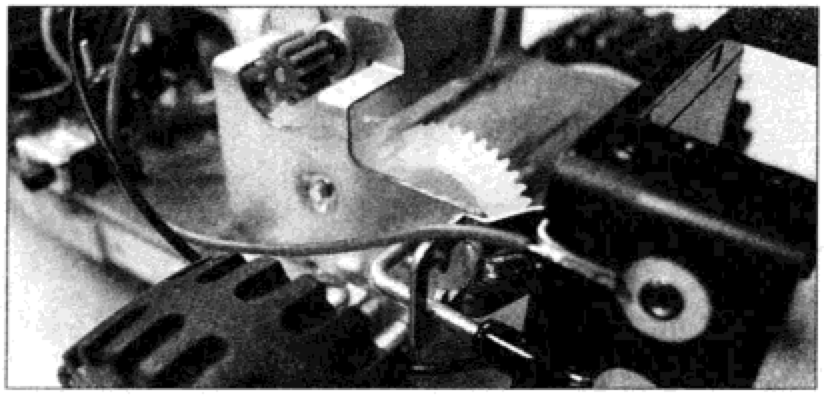


3d.在电池夹正中钻个小孔，孔径与步骤1b中的钻孔相同。再将电池夹铆接到电机/齿轮箱上。



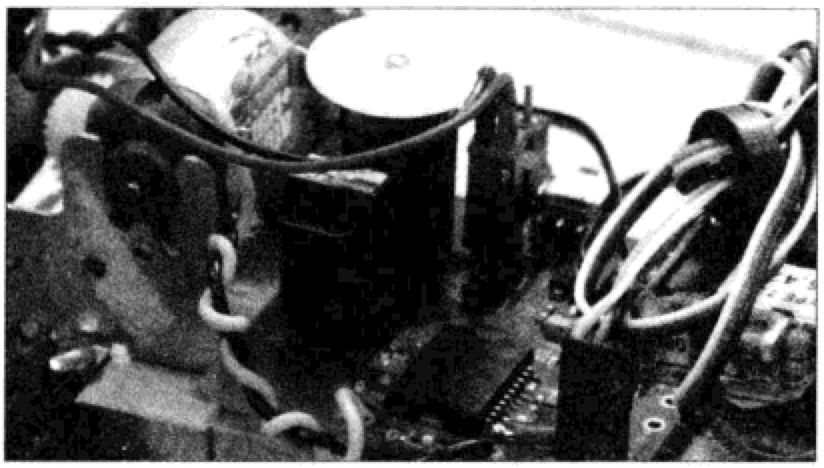
注：铆接时，先将铆钉穿入小孔，再用铆钉枪用力挤压，直到钉芯弹出。若要拆除铆钉，只要用相同的钻头在原洞打孔，即可钻出。

3e.用24号导线焊接在电池夹上，将正、负极引出，长度以能轻松接到电路板上J4焊盘为宜。在导线的末端焊上2脚公头接插件，这样就能根据需要，用9V电池给电路板供电。

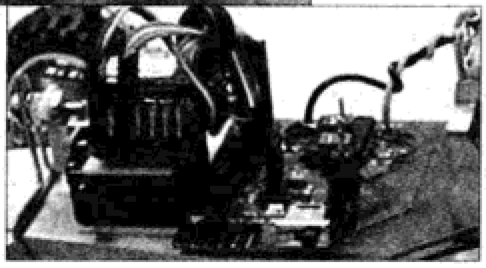


3f.用一小片双面胶将一台伺服电机粘到电机控制电路板上，位置尽量靠近电机/齿轮箱。这台伺服电机用于控制无线摄像头左右摆动。

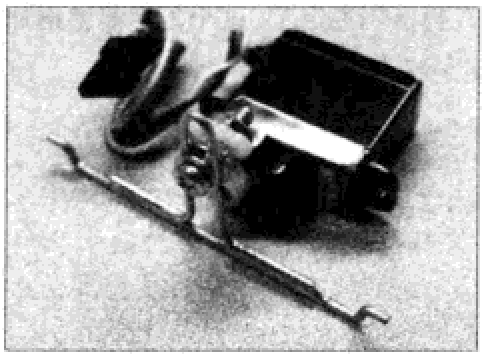
这种伺服电机配备了多种杠杆臂，以应对不同的用途。作为用于摄像头的伺服电机，我们选用圆形杠杆臂。

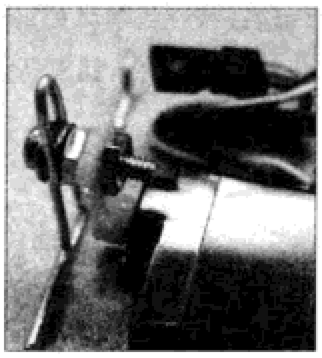


3g.接下来，将另一台伺服电机粘接到小车底盘上，位置紧靠电路板之前（电路板位置在步骤3e中有说明）。这台伺服电机用于控制小车方向。



3h.对于控制方向的伺服电机，我们选用直杠杆臂。在杠杆上钻个适合4号螺丝的小孔。用4号螺丝、2个垫圈、2个4号螺帽将改装连杆安装到伺服电机的杠杆臂上，稍有松动。现在，有了能上下移动的前悬挂，即使在粗糙的路面，伺服电机仍然能控制小车的方向。

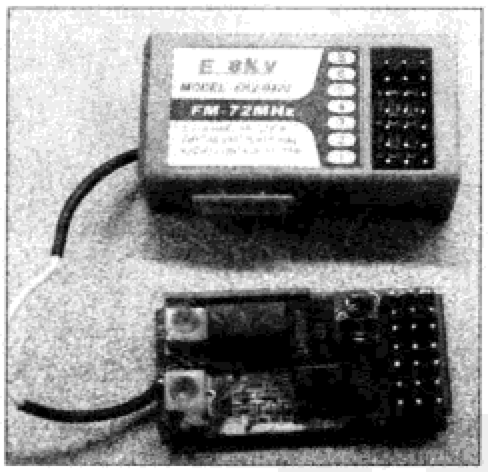




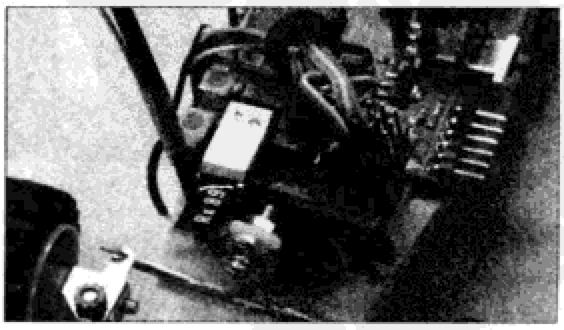
4. 安装遥控接收机和无线摄像头

4a.这个制作可以使用任意发射机/接收机，你可以在附近商店寻找便宜的套件。我选用的这套四通道无线电遥控套装（包括发射机、接收机以及一个伺服电机）只要60美元，相当划算。

我之所以选用四通道、双摇杆发射机，而不是双通道、枪式发射机，是因为我需要右摇杆来控制摄像头。



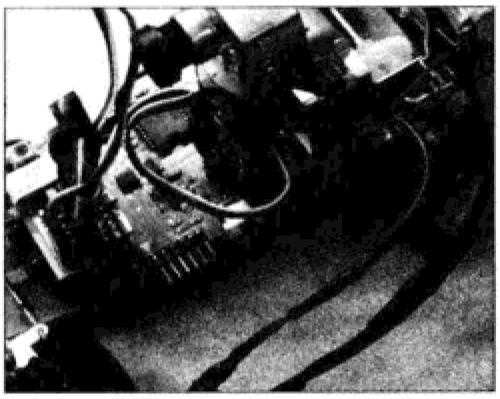
4b.用双面胶将接收机粘到伺服电机顶端。为减轻发射机的重量，你可以将外壳去掉，这样也方便晶体振荡器的安装和引线的连接。



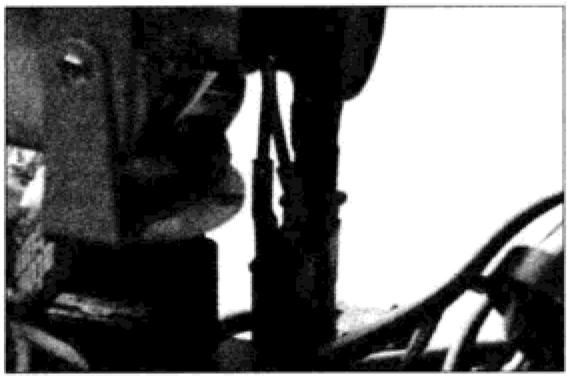
4c.将摄像头伺服电机接到通道4，方向控制伺服电机接到通道1。将电机控制电路的JP1引接到接收机的通道3，这根线负责给接收机供电，还能通过PIC12F683单片机产生的PWM信号控制电机速度。将S型连线的引脚和伺服电机连接线末端裸线卷在一起，做成PWM传输线。为了减少电子噪声干扰，将PWM传输线绕在铁氧体磁环上，再接到通道3。这个磁环能够增加传输线的感抗，滤去高频电子噪声。

注意：当使用无线电遥控发射机和接收机控制汽车模型时，在美国请确保频率在75MHz附近（注：在中国，遥控汽车模型的频率有26～27MHz、40MHz两个频段），无线遥控飞机控制频率范围在72MHz附近。

4d.在将无线摄像头安装到伺服电机之前，剪短摄像头传输线，并且焊上另一个2脚公头接插件，用于连接电机控制板的J3引脚。可以这样做，先将传输线截取约7.5cm。剥去2.5cm的绝缘层，然后套上5cm的热缩管。再将黑色和红色导线焊接到2脚接插件上，并在连接处套上热缩管，最后用焊风枪或电吹风加热至收缩。



4e.用双面胶将无线摄像头临时粘接在伺服电机上（稍后还要调整）。

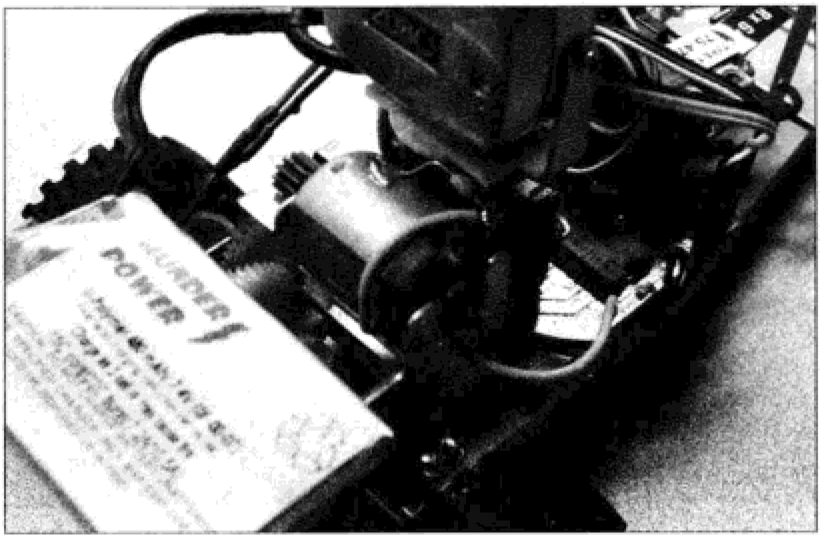


5. 安装电机电池以及对PIC单片机编程

5a.为了给电机提供动力，你需要一块电压与续航能力兼备的电池。我选用了Thunder Power锂聚合物（Li-Poly）1320mAh/7.4V 2芯充电电池。我不建议选用少于480mAh/7.4V的电池，否则可能需要频繁充电。

注意：即使是新买的电池也要充电，请绝对不要让两根线接触。

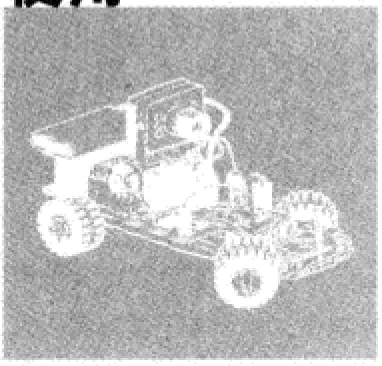
5b.将电池上的黑色、红色导线剥去绝缘层。将导线焊接到2脚公头接插件上，并用热缩管包住。用双面胶将锂电池粘接到9V电池夹上，然后再连接至电路板的J5（VBAT）引脚上。



5c.对PIC单片机进行编程，我使用从MicrochipTechnology（microchipdirect.com）购买的PICkit2新手包（#DV164120）对PIC单片机进行编程，售价50美元。这个开发包能够通过J2接头直接对单片机进行写入、调试和编程操作（如果你是学生或者教育工作人员，请访问microchip.com/academic，了解如何通过Microchip院校计划获得开发工具的折扣优惠）。访问makezine.com/14/bajabuggy下载相关文件。通过PICkit 2 新手包的界面导入carprogorig.hex程序文件，点击“编程”按钮。

完成

使用



充电与使用

充电

现在你的小车已经组装完成，差不多可以准备运行了。但这之前，最好先给电池充电。我使用Apache2020型智能充电器，这是一款专门为2芯锂聚合物电池充电而设计的充电器。

注意：请务必使用专用充电器给锂聚合物电池充电，这一点请千万相信我。我的一位同事的家里，因为丈夫使用了不当充电器，导致车库报废。关于电池盒充电器的正确使用，请遵照厂商说明书指示。

伺服电机的校零和无线电遥控的设置

你的小车已经准备就绪。打开电路板上S1开关，伺服电机就会通电，并且自动找到中点位置。你必须拆下摄像头再重新安装，以确保镜头对着正前方（幸好用的是双面胶）。控制方向的伺服电机可能也需要些许调整。只要将伺服电机杠杆臂上的螺丝松开，拆下杠杆臂，竖直向上，再次装上就好。现在你将S1开关几次，伺服电机总能找到正确的初始位置。

将电路板和手持发射机都断电。调整发射机右下角的拨动开关，设置左边的摇杆（前后向）为油门；设置右边的摇杆（左右向）为方向，再将右边的摇杆（左右向）设置为摄像头方向控制。无线电系统的说明书有相关操作说明。

以上工作完成以后，打开发射机开关，再打开S1给电路板上电。先将发射机的油门摇杆拉到底，使小车倒退至自己身边。再将摇杆向前推到底，使小车前行至原点。这样就使小车完成一次最大负载的前进与后退，同时完成速度控制电路的调试。至此，遥控小车就可以整装待发了。

使用虚拟现实眼镜

连接VR眼镜（或者电视机）与无线摄像头的接收器。将接收器接到一个交流电源上。调整频率，直到屏幕出现摄像头所拍摄的图像。我发现，如果没有太大的障碍物，这款摄像头至少能有150m的视域。如果在户外开阔场地，这个范围可能更大。

相关资源

从本刊网站www.radio.com.cn或makezine.com/14/bajabuggies下载Baja小车的PIC单片机电机控制程序carprogorig.hex，以及Gerber文件和电路原理图。你还可以下载一份列有电路元器件清单的Excel表格，包括对应的Digi-Key货号。最后，还提供一份廉价替代元器件清单。

Microchip在线电机设计中心（microchip.com/motor）拥有大量的PIC单片机电机控制程序和相关资源。

◎杨法（BD4AAF）

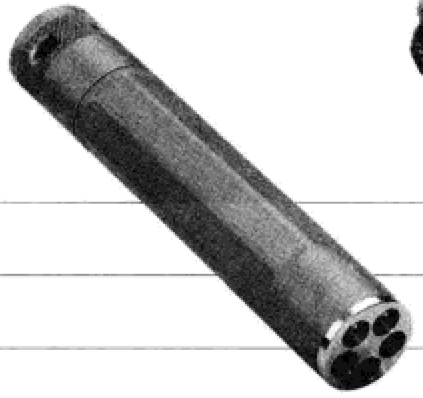
时刻准备着 应急电子装备纵览

俗话说不怕一万只怕万一，天灾和事故等突发事件往往使人措手不及。在平时如果有良好的防灾意识，早做准备,配备应急物资,做好应急预案，那么遇到突发事件就能提高逃生和生存的几率。

在一些发达国家和地震多发的地区，除社区平时组织居民参加各种形式的防灾演习和宣传逃生知识外，很多人都在家里准备了应急箱，以供不时之需。应急箱中除一些应急的食物、水、急救药品和常用求生器材外，通常还会有一些电子装备。随着应急箱档次的提升，配备的电子设备也越来越多。作为电子爱好者，大家都一定十分关心什么样的电子设备是防灾的有力帮手，很多朋友也有兴趣准备自己的应急器材箱，下面我们就按照电子器材的常用程度分类为大家介绍。

手电

常用程度：★★★★★



美国INOVA X5 手电，使用2节CR123A电池供电，亮度56流明，一组电池可以工作10小时（典型工作时间）。

美国塘鹅2410 LED手电，重0.21kg，使用4节AA电池供电，亮度72流明，一组电池可以工作7小时15分钟（典型工作时间）。

手电是传统的照明工具，有相当一部分灾害会使电力中断，无法使用由市电驱动的照明设备，这时手电就能临时提供可靠的光源。有的灾害即便是发生在白天，但随着时间的延续，不久就会进入黑夜，如果灾害比较严重，市电不能及时恢复，夜间照明也得依靠手电。同时手电也是搜救的必备照明工具。

除了照明用途外，手电还是传统的求救信号发生器和发光位置标志器材。通过闪灯求救，有时比大声喊叫效果更好而且节省体力。

应急箱中常备的手电，其特性要求与一般家用手电有所不同。首先，备用手电要求电池保持寿命长，随时拿出来就能点亮。很多家用手电使用廉价电池或充电电池，虽然日常使用成本低，但经常碰到电池寿命短或需要反复充电的问题。试想一下，一支放置了两三年没用的手电，慌忙中拿出来，突然使用发现电池已报废甚至漏液，该是多么沮丧的事情。所以很多高端专业手电都使用高性能的CR123A一次性3V锂锰电池，这种电池较多使用在早期的高级传统相机中，优点是：储能大，在低温下依然有很好的放电性能，自放电率极低，放置三五年照样可以使用，优质电池的质保期甚至可达10年。不过CR123A的价格比较高，优质的电池价格在15～30元/节，所以多用于专业场合。一般家用级的手电建议使用一次性的5号（AA）碱性电池，碱性电池保存一两年没有问题，优质产品如金霸王、劲量电池，质保期可达5年以上，2～3元/节的价格相对CR123A的价格便宜很多,而且容易买到和补给。

其次，备用手电不用追求很高的亮度，更注重总体续航时间。高亮度的手电虽然吸引人的眼球，但通常高亮度与高功耗同在。手电的电池容量是有限的，而且在灾害情况下很难获得补给，所以低功耗、长时间的照明才是灾害环境中更需要的特性，当然有些高档手电可以选择多级亮度就完美了。

再次，备用手电最好具有一定的防水特性，因为要在恶劣的灾害环境中使用，手电部件与外界有较好的隔离性能才不容易出故障。专业的手电不但防水，还有一定的防爆特性，可防止引发二次灾害。

此外，传统的手电采用白炽灯泡作为光源，现在有很多新型手电则采用发光二极管（LED）作为光源。传统灯泡本身易碎，灯丝容易断裂，抗撞击性差，LED几乎不用担心寿命，具有很不错的抗撞击能力，而且在亮度相同时更为省电，所以建议配备LED手电。如果打算用灯泡手电，最好多准备几个备用的灯泡。配置LED手电时，建议选择光色偏黄一些的产品，因为黄色光线在雾气中穿透力强。

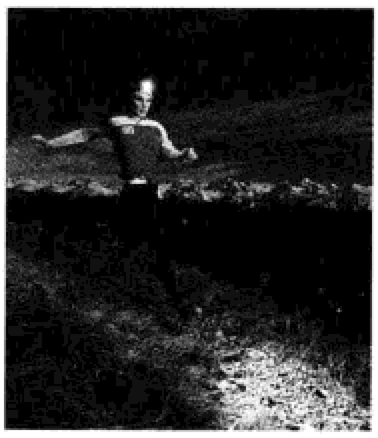
现代手电有金属外壳和塑料外壳两大类，各自都有自己的优点，并不是说塑料手电就一定差。在外壳重量、导电性、化学稳定性等方面，高档塑胶外壳都占有一定的优势。国际顶级的塘鹅（PELICAN，也被译为派力肯）手电，大部分产品都采用非金属材料，广为专业的消防单位和救援组织所选用，是获得国际认证最多的手电。

手压式自发电手电

市场上还有一种特种手电，非常适合成为应急箱里的第二支备用手电，这种手电就是自发电手电。自发电手电在很多电子市场都有销售，价格也不贵。自发电手电通过手动驱动一个小电机发电来点亮LED，优点是不需要更换电池就能长时间工作，适合电源极度匮乏的场合，缺点是发光亮度低，一般适用于最低限度照明，是普通手电电池耗尽后的最后选择。

在手电的基础上还有一系列衍生产品，常见的有头灯、手提灯、激光指示器等。头灯有点像大家在电影里看到的矿灯，固定在前额上提供照明，优点是解放双手，可以广泛应用于户外活动、探险、救援等场合。同样出于延长续航时间的目的，一些高级头灯具备两级亮度调节功能。

Petzl E91PE超轻型头灯，重量约80g，使用3节AAA电池供电,亮度23流明，提供两挡亮度输出，一组电池在经济模式下可以工作190小时（典型工作时间）。



收音机

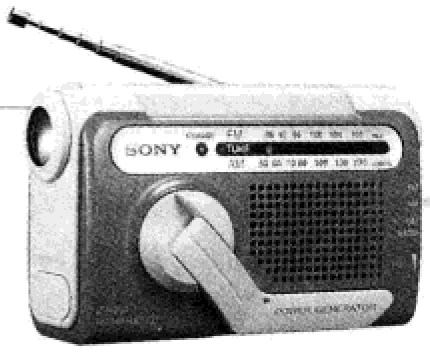
常用程度：★★★★☆

收音机主要用来在灾害发生后了解外界的情况，获得救援信息和次生灾害预警。在严重自然灾害发生后，移动电话网络很容易遭到破坏或者过载，使手机无法使用，此时政府会利用中波调幅和FM调频广播来发布最新的各种信息，包括灾害预警和救援状况，及时掌握这些信息对于受灾者有至关重要的意义。

收音机一般并不强调有短波收听功能，有中波和调频广播就可以了。收音机同样面临一个耗电的问题，虽然大部分普通收音机耗电量不大，但在缺少电池补充的情况下长时间收听的问题也是需要考虑的。市场上有一种手压/手摇充电的收音机正好解决了这个问题，日本很多家庭的应急储备中都有这类收音机。

德生GREEN-88，内置3节600mAh无记忆镍氢可充电电池组，有手摇发电和应急照明功能。

收音机和手电在救灾工作中非常重要，一些产品将它们合二为一，在没有外部电源的情况下，可以通过太阳能或手压/手摇充电。



SONY ICF-B01是SONY公司特别为防灾应急使用而设计的新款收音机，具有带扬声器的AM/FM收音机、两挡亮度LED照明、为手机应急充电（需要通过对应型号的适配器）三大主要功能，并有一定防水功能。

电子求救器

常用程度：★★

电子求救器就是一个高音量、高频率的发生器，通常它发出的声音远比普通人呼救的声音更容易引起别人的注意，同时可为呼救者节省体力。

备用手机

常用程度：★★★

经典的Ericsson 爱立信 R310鲨鱼手机，信号好，待机时间长。

备用手机是日常手机的备份。手机是现代人通信的主要工具，也是求援和报平安的最主要、最迅捷的通信工具。虽然在很多严重自然灾害后，手机网络会一度受损，但通常救援人员会在最短时间内抢通手机网络，所以手机依然是灾害发生后老百姓最主要的通信工具。

备用手机不需要华丽的外表和丰富的功能，只要能通话和收发短信足以，什么彩屏、大屏手写、智能操作系统都只能带来更大的耗电和更短的待机时间，所以高级智能手机完全不适合作为应急备用手机。理想的备用手机最好是信号强、待机时间长、结实耐用的手机，一些注重性能的三防手机是不错的选择。对于电子爱好者来说，找出家里过去那些黑白单色液晶屏的老机器，配上新电池作为备用应急手机也是很实惠的做法。手机的充电是个很大的问题，立足于自给自足的原则，最好为手机准备一两块备用电池，主电池不用时不要安装在机器上，因为移动电话一般都采用软电子开关，即使关机，依然需要一定的电流来维持基本电路工作。市场上有一种将AA电池逆变升压，给手机充电的应急充电器，在野外应急状态下比较实用，这种充电装置的价格很便宜。也有部分手压/手摇充电的手电、收音机可为手机充电，不过使用起来比较费时、费力。

Sonim推出的XP1三防手机，目前已推出XP3，但作为难得使用的备用手机，XP1在价格上更为划算。

将AA电池逆变升压，给手机充电的应急充电器。

卫星电话

常用程度：★

卫星电话是利用太空低轨道通信卫星作为基站的一种移动电话，具有通信覆盖面广、盲区少、不容易受地面灾害影响的特点，在地面移动电话网络瘫痪和手机信号没有覆盖的偏远荒漠地区，卫星电话依然能保持通信，显示出其独特的魅力。在汶川地震先期救援中，卫星电话就发挥了主导的作用，在此之后，很多单位都相继配备了卫星电话，作为应急通信的中坚装备。卫星电话使用方便，效率高，通信远比传统的短波电台可靠，最大的优点是可以直接呼叫地面电话网的用户。

不同的卫星电话运营公司有不同的网络，目前国内主要使用铱星和海事卫星电话。铱星是真正覆盖全球的卫星电话系统，通话质量好，但费用比较贵，堪称贵族卫星电话。海事手持卫星电话来源于以前的亚星电话，费用相对低廉。此外还有欧星（舒拉亚）卫星电话可以选择。由于卫星电话本身价格不便宜，外加购买付费卡后有使用限期，所以属于比较高端的备用电话。

国际海事卫星手持卫星电话，支持GSM与卫星模式双模式。

对讲机

常用程度：★★★★

对讲机是一种小型的电台，适用于短距离通信，广泛应用在抢险救灾中。在近期中国向日本派出的15人国际救援队中，对讲机是每个队员的制式装备。除互相联络用外，对讲机也可作为应急装备用于呼救。虽然无线电法规规定使用对讲机需要申请电台执照，但在危及生命的紧急情况下，使用对讲机呼救并没有受到限制。在移动电话网络瘫痪、手头又没有昂贵的卫星电话的情况下，对讲机是最实用和廉价的求救通信工具。有经验的操作者会先扫描频道寻找繁忙的信道进行呼救，或者到业余电台频段上呼救。应急对讲机建议配备性能可靠、有防水特性、频率覆盖宽泛、可自由调节的手持对讲机。

YAESU 公司的VX-7R对讲机，具有IPX7的防水等级。VX-7R可以在常用的VHF和UHF频段双频工作，并可加装气压片来测量气压变化。

GPS全球定位系统

常用程度：★★★

GPS是全球卫星定位系统，遇险者利用GPS可以迅速测定自己所处的精确经纬度，及时提供给救援单位，使得救援单位能迅速、有效地找到自己，实施救援。应急使用的GPS最好是专业的、有一定防水等级的手持GPS，支持使用可替换的标准型号电池。能够显示经纬度是必须要有的功能，在此基础上，能内置地图更好。GPS除了提供定位数据外，还可以提供运动方向和速度参数，确保你撤离方向的正确性，如果GPS支持导航那就更棒了。在恶劣环境下，并不适合使用市面上廉价的大屏幕车载导航器，推荐选用Garmin或Magellan的各款手持式GPS作为应急装备，它们都具有较高的防水等级并使用普通AA电池。

美国GARMIN的手持式GPS map 60CSx，使用两节AA电池，内置气压计和地图，具有IPX7（水下1m可保持30分钟不进水）的防水等级。

个人核辐射探测仪

常用程度：★

个人核辐射监测仪器

这是一种用来探测X射线、γ射线、β射线核辐射的个人测量仪器，通常仪器可以设定报警上限，一旦检测到核辐射超标，就会自动报警。核辐射探测器主要用于核设施出现泄漏、核武器爆炸、恐怖袭击“脏弹”爆炸后，对周围环境安全进行快速评估，通过仪器读数可以评估周围放射性污染的严重程度。不是极高剂量的核辐射，一般人在现场没有明显的感觉，但潜在的伤害已经存在，必须通过仪器来探测辐射强度，以便加以防护。

安全箱

常用程度：★★★★

以上介绍的都是电子设备，作为电子设备有两个软肋，一个是产品需要防水、防潮，一个是需要电源供给。防水、防潮方面，目前可通过新型的安全箱解决。安全箱的箱体采用抗冲击的高分子聚合材料一体注塑成型，坚韧抗压，四周采用扁型弹性发泡橡胶条密封，确保防水性、气密性远在传统铝箱之上，现在很多高端仪器都纷纷采用安全箱包装。

安全箱有大有小，小的只能容纳手机，大的有常规旅行箱那么大，大家可以根据需要容纳的物品大小来选择。特别需要防潮的设备可以在箱中加入吸潮剂。笔者认为把备用手机等贵重仪器装入独立的小型安全箱比较合适，有了这层保护罩，即使雨淋、浸水也不怕。市场上比较有名的安全箱品牌主要有美国塘鹅，国内的万得福、道芬等。

国际著名的塘鹅安全箱。

有害气体探测仪

常用程度：★★

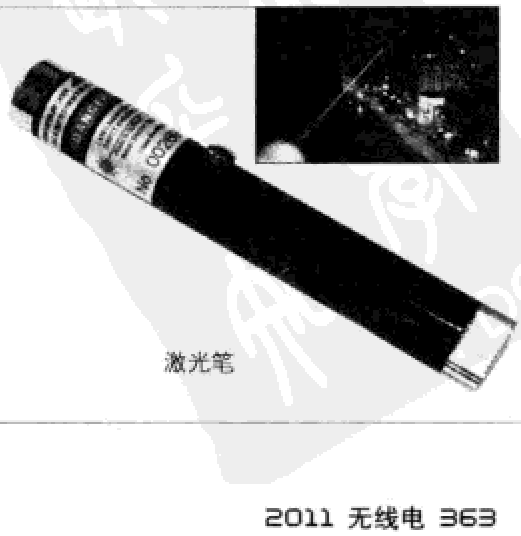
有害气体检测仪

不同的气体探测仪可探测的有害气体类型不同，常见的有害气体有硫化氢、一氧化碳、二氧化硫、可燃气体等。这类探测仪主要用于气体泄漏的现场检测，根据不同的浓度来决定进行防护或考虑撤离。有些气体浓度达到一定程度容易发生爆炸，所以高档的产品会有防爆认证。

激光指示器

常用程度：★★

激光指示器也被称为激光笔。激光束具有能量集中和远射的特点，所以被用来指示目标，在个人远距离求救中可以发挥特殊的作用。常见的激光笔为红色激光笔，不过建议在应急箱里配备绿色激光笔（也被天文爱好者用于指点星空，称为指星笔）为佳，因为同等能量下，绿色激光更为醒目，而且更容易在空中形成长长的光束。激光笔功率不用太大，一般5～10mW的产品就足够了。使用激光笔时要注意安全，不可直射人的眼睛。


激光笔

一起去看IIC

第十六届国际集成电路研讨会暨展览会IIC-China 2011春季展特别报道

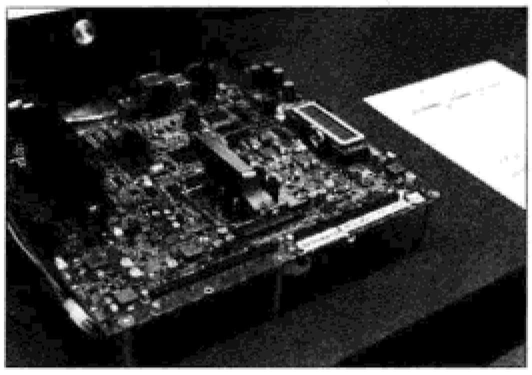
◎王丰硕

第十六届国际集成电路研讨会暨展览会IIC-China 2011春季展于2月24日至26日在深圳会展中心盛大举行。ADI、Atmel、BYD、Fujitsu、IR、Micron、STMicroelectronics等全球知名厂商同台亮相，引领尖端集成电路技术热潮。IIC-China是国内展示集成电路应用技术及高品质元器件的大型权威盛会，这次展会共设560个展位，有230多家知名厂商参展，是业内设计工程师、技术人员和采购人士不能错过的全方位交流平台。

值得关注的公司与技术

英特尔的嵌入式互联网技术

英特尔公司作为世界顶级的半导体公司，在展会上有特别引人注目的展台。随着联网需求的不断增长以及互联网技术的不断发展，英特尔相信一个在连接规模和应用前景上比当今以PC和服务器为基础的互联网更为辉煌的“嵌入式互联网”时代即将到来。英特尔预测到2015年，将有超过150亿个设备要接入互联网，这些相互连接的智能设备将激发无限的创新，而它们将彻底改变人们的工作及生活方式。



英特尔公司展出的最新的凌动处理器E6XX系列嵌入式方案

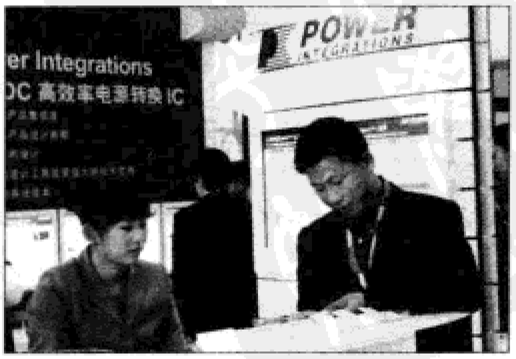
创惟科技的USB 3.0芯片

USB 3.0技术最近非常流行。台湾省台北县创惟科技（Genesys Logic）于1997年成立，擅长高速输入/输出（I/O）技术，尤其在USB 2.0、USB 3.0和PCI Express的芯片技术开发方面表现十分杰出，此次展会他们带来了应用USB 3.0芯片的计算机主板。

创惟科技的工程师向观众展示应用了USB 3.0芯片的计算机主板

PI的高效率电源

荷兰帕沃英蒂格盛（Power Integrations，以下简称为PI）有限公司，是用于功率转换的高压模拟集成电路业界的领先供应商。PI公司实现了尺寸小、结构紧凑、用于各种电子产品的高效率电源，包括用于交流-直流转换和直流-直流转换的高效率电源。其高效率EcoSmart技术极大地减少了能源的消耗。很多人都知道TOP系列的单片集成MOSFET的AC-DC开关电源芯片，就是包含PI公司诸多专利的特色产品



荷兰PI公司主要展示尺寸小、结构紧凑、用于各种电子产品的高效率电源

美信的电源管理技术

迄今为止，全球有超过3.5万家客户采用美国美信（Maxim）集成产品公司的工程方案。美信已经开发了6400多种IC，覆盖28个应用领域，拥有业内最广泛、最深入的产品线。在今年的IIC上，美信大力推广领先的电源管理技术。

美信电源管理技术在电动自行车上应用的实物演示模型

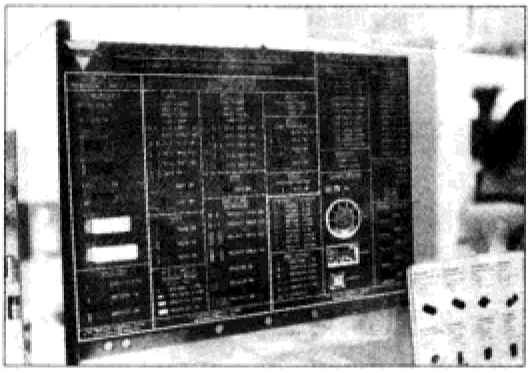
TriQuint的射频解决方案

美国俄勒冈州的TriQuint半导体公司，专注于设计、开发和制造射频解决方案。TriQuint的解决方案可以应用在智能手机、平板电脑、上网本等消费性设备中，还可以应用在网络基础设施，包括3G和4G蜂窝基站、有线电视、光纤、点对点通信上。

TriQuint半导体公司的工程师在技术研讨会与观众交流

威世科技的电子元件

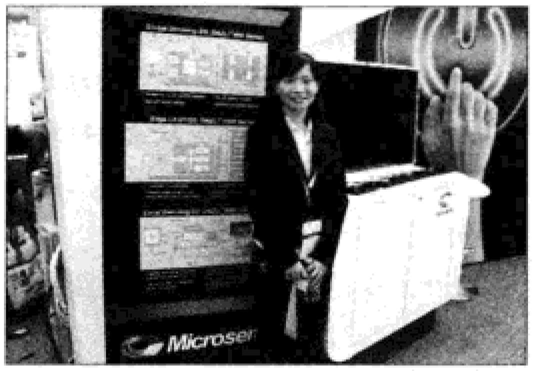
威世科技（Vishay Intertechnology）是全球分立半导体（二极管、MOSFET和红外光电器件）和无源电子元件（电阻器、电感器、电容器）的最大制造商之一。这些元器件可用于工业、计算机、汽车、消费、电信、军事、航空航天、电源及医疗市场中几乎所有类型的电子设备和装备。



威世科技推出的最新DALE贴片电阻系列

Microsemi、SONY的3D数字电视引擎和LED背光系统

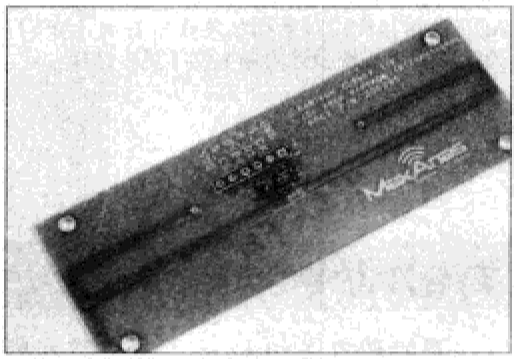
美国Microsemi 公司是高性能模拟与混合信号集成电路领先的设计者、制造商和市场开拓者。日本SONY公司与Microsemi 公司合作，开发了最新的3D数字电视引擎和最新的LED背光系统，用于3D LCD TV。这种LED背光技术可以利用DSP分析画面的明暗，局部调节画面的对比度，实现更强的3D效果。



SONY公司的工程师与最新设计的3D LCD TV

Ramtron的铁电存储器

生产铁电存储器(FRAM)的美国Ramtron 公司也参加了IIC展。铁电晶体材料的工作原理是：当我们把电场加载到铁电晶体材料上，晶阵中的中心原子会沿着电场方向运动，到达稳定状态。原子只有两个稳定状态，一个我们记作逻辑0，另一个记作逻辑1。中心原子能在常温、没有电场的情况下停留在此状态达100年以上。由于在整个物理过程中没有任何原子碰撞，铁电存储器拥有高速读写、超低功耗和无限次写入等特性，即同时拥有随机存储器(RAM) 和非易失性存储器的特性，是EEPROM的理想替代品。



一块以4KB的FRAM为核心的PCB。

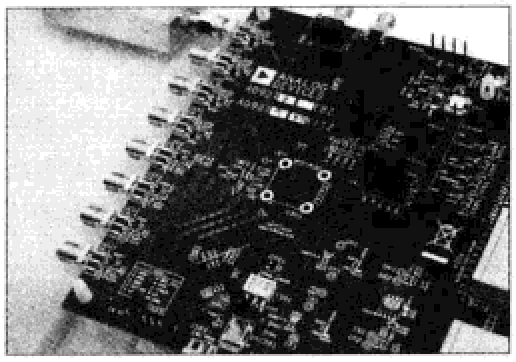
Skyworks的射频IC

Skyworks Solutions公司是一家创新的、高可靠性的模拟与混合信号半导体业者。其公司总部位于美国马萨诸塞州沃本市，在亚洲、欧洲和北美等全球多个地区均设有工程、制造、销售与服务站点。Skyworks的射频IC在移动通信设备上被广泛应用，也许你的手机就在使用Skyworks公司的射频器件。

Skyworks Solutions的射频IC在移动通信设备上被广泛应用

ADI的集成模拟前端

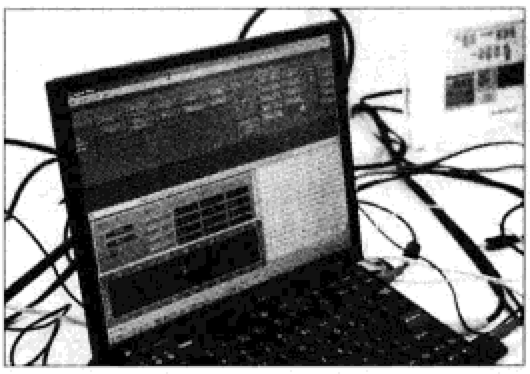
ADI公司的AD927x系列集成模拟前端(AFE)为解决超声系统设计问题提供了更多选择，演示评估系统描述了该系统。这些方案主要用于医疗电子系统。



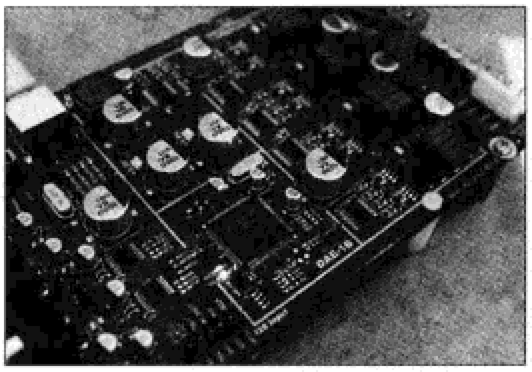
ADI公司的AD927x系列集成模拟前端（AFE）为解决超声系统设计问题提供了更多选择

英特矽尔的智能数字放大器

英特矽尔（Intersi）公司在这次展会上展示了D2Audio智能数字放大器(Intelligent Digital Amplifiers)方案。D2Audio的集成DSP与PWM控制器，包括先进的数字反馈功能，能够提供最高水平的音频性能。



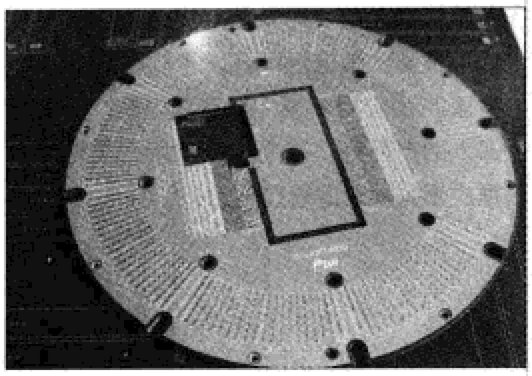
D2Audio在PC上运行上位机程序，利用GUI（图形用户界面）来直接定义模块的局部功能，直接生成可执行代码，优化包括扬声器在内的系统参数



D2Audio的评估板，包含了D类放大器部分

汉普电子的多层通信PCB

深圳市汉普电子技术开发有限公司为海内外客户提供高速PCB HSPICE和IBIS高速信号完整性仿真分析、PCB Design Layout、EMC设计和PCB制造、PCB组装一条龙服务，可以完成10G高速差分信号、DDR/DDR2 SDRAM、TI DLP-RAMBUS RDRAM、开关电源、高速背板等最多达28层的多层通信PCB设计及制造。客户包括SIEMENS、华为、联想、德州仪器、Intel等全球顶级客户。



汉普电子为Intel设计制造的CPU测试板

爱特梅尔的系统级芯片

美国爱特梅尔（Atmel Corporation）公司的产品包括微处理器、可编程逻辑器件、非易失性存储器、安全芯片、混合信号及RF 射频集成电路。通过这些核心技术的组合，爱特梅尔生产出了各种通用及特定应用的系统级芯片，以满足当今电子系统设计工程师不断增长和演进的需求。

在这次IIC展会上，爱特梅尔展示了汽车电子系统控制方案

研讨会

除展览会外，研讨会也是亮点之一。IIC-China专家论坛是业内权威人士与观众互动分享最新资讯和技术趋势的重要活动。工业和信息化部通信计量中心的专家对3G智能手机的发展趋势话题展开了热论，Analog Devices技术经理章新明阐述了新型放大器的高性能、高可靠性、低功耗革新设计，北京航空航天大学何立民教授讲解了物联网时代的嵌入式系统机遇，泰克公司行业渠道开发经理王跃伟分享了混合信号及嵌入式系统调试方案。

有趣的现场拆解和科技挑战活动

IIC同时举办独特的“现场拆解”活动。今年被拆解的主角是智能手机和平板电脑，国际品牌VS国产品牌，这个活动是众多电子爱好者和工程师最喜欢的。“科技挑战”活动是IIC为众多专业观众全新打造的舞台，在展会现场设置挑战擂台，参观者不仅能了解更多新技术，还能现场参加挑战并进行综合排名，只要对自己有信心就可以去现场挑战。

第十六届国际集成电路研讨会暨展览会IIC-China 2011春季展为期3天，非常成功。IIC展会、技术研讨课程、产品拆解，以及IC厂商的专家与观众的现场交流，激发了设计灵感，带来集观摩、接触、交流于一体的非常体验。

与时俱进的业余电台

◎聆听

业余无线电活动是一项世界性的个人爱好活动，在国际上被称为“Amateur radio”。业余无线电爱好者是一群特殊的电子爱好者，这些爱好者特别专注于无线电通信，他们曾对早期无线电通信的发展做出过不可磨灭的贡献。因此，即便在通信高度发达、频率资源日趋紧张的现代社会，国际电信联盟（ITU）依然为业余电台活动保留了相当一部分专用频率资源。

英语“Amateur radio”中的“radio”一词在中文中有“无线电”、“电台”、“收音机”等多种解释。在早期民用领域，无线电被大众默认为收音机，收音机是当时人们在生活中最常接触到的无线电产品，对应就有了发射信号的广播电台和接收信号的收音机，也由此衍生出了用于通信的无线电报电台，而且当时很多业余无线电爱好者都是从组装收音机起家的。随着电子和通信科技的迅猛发展和行业的细分，目前广义的业余无线电爱好者泛指电子爱好者，包括各种与电子电路研发、制作、尝试相关的个人爱好者，这些电子线路也可能与射频通信线路无关。所以按照原意，将Amateur radio解释为业余电台更为妥帖，狭义上仅指对无线电通信个人电台有特殊爱好的人。国际上大部分国家都对业余电台爱好者有专门的管理，

老式发报机的电子管部分

通过考试颁发业余电台执照或操作证书，授权其在限定的频率和功率下可以占用频率发射电磁波，与境内外其他合法业余电台进行通信试验。

业余电台的通信对象具有很强的不确定性，这与个人的电台设备和电波传播有关，尤其是短波通信，可能这次打开电台听到的是来自美国的信号，下一次就变成了澳大利亚的HAM在呼叫了。正是这种不确定性成为了业余电台活动最大的魅力，这也是与通过公众电话网聊天和互联网网上聊天的最大区别。业余电台爱好者热衷于不断改进自己的设备，包括收发信机、天线、馈线，并不断学习和谈论电波传播知识，这些活动为他们带来了极大的乐趣。

业余电台有很多玩法，有远距离DX通联派、国际通联比赛派、器材发烧派、射频电路DIY制作派、电台聊天派、移动通信派等，并衍生出全球业余电台通信比赛、荒漠孤岛远征、无线电测向、无线电收听等活动。

业余电台的通信发展历程

早期的业余电台限于通信设备以电报往来通信为主，工作在短波的低端。基本型的电报发射机线路比较简单，由一两枚电子管构成强放电路就能发射电波，接收电路相对复杂一些基本是在收音机电路上加上差拍振荡器电路就能接收、解调电报了。早期的一些电台中，有不少就是利用收音机改制的电报接收机。很多老一辈业余电台爱好者都是莫尔斯电报码的高手，电报收发技术不逊色于邮电局和军队的专业报务员。随着通信器材的发展可以直接语音通话的短波电台逐渐流行起来，使用起来就像打单工电话一样。早期话音通过AM调幅方式传送，后期为了节省频谱资源提高发射效率在短波段采用SSB（单边带）调制模式，并积极拓展频率使用范围，在充分利用短波高端频率后向更高频率的VHF频段进军并积极探索长波等通信频率。在VHF/UHF频段采用语音还原品质更好的FM调频调制，这也就成为现在广泛使用的超短波对讲机的雏形。

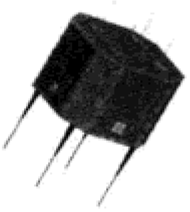
业余电台的新发展

现代主流无线电通信基本完成了从模拟向数字化的过渡，日常生活中的GSM、CDMA、WCDMA、TD-CDMA移动电话和无绳电话都采用数字通信技术，模拟移动电话全面淘汰。数字化通信拓展了无线电通信的应用，从传统模拟通信的以语音和低速数据为主，发展为数字通信的以语音、图像、视频、高速数据并重。那么业余电台在新时代中有什么新发展，通信方

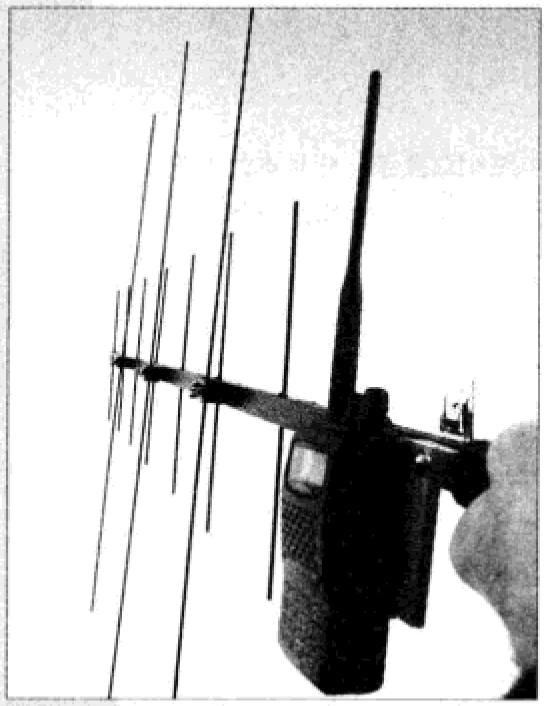
式有什么改变，有什么新的玩法，接下来让我们走进新时代业余电台的世界。

◆ 业余卫星通信

业余电台爱好者拥有自己的业余通信卫星和转发器。继国外业余电台成功升空多颗业余通信卫星后，近年中国也发射成功了自己的业余通信卫星——希望一号（官方编号HO-68）。



HO-68



手持式八木天线，摘自《业余卫星通信手册》（即将出版）

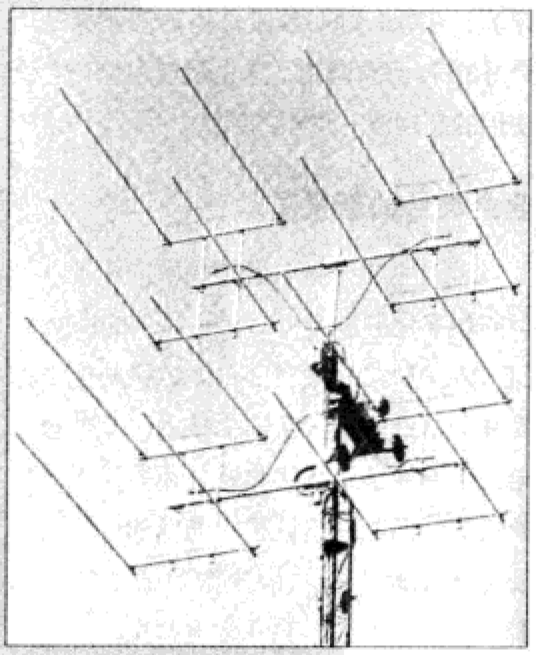
业余电台的通信卫星与商用军用卫星一样，拥有正规的运行轨道和地面控制中心，只不过它的通信业务是免费面向广大业余电台爱好者的。与一般商用卫星网不同的是，业余卫星都是单星运行，为了让全球业余电台爱好者能广泛使用，并不采用商用通信卫星通常使用的与地球同步轨道的模式。业余卫星每天都围绕地球上空飞行，在我们的所在地，每天都有一个时段，卫星从你头顶掠过。业余卫星上装载有多部转发器，简单地说，相当于将中继台从楼顶搬到了太空轨道，具有更高的高度和更广的覆盖范围。因此，利用业余卫星可以完成超短波、跨省际，甚至跨国际的通信。对于卫星“过顶”的时间，有专门的电脑软件可以计算预测。有的低轨道业余卫星提供FM转发器，最简单的装备只要一部双频段手持对讲机，设置好上下行频率，找对时机，通过对讲机的普通橡胶天线，就有可能完成卫星通信，大大降低了业余电台爱好者玩业余卫星的门槛。

为了获得更好的通信效果，很多业余电台爱好者使用手持八木天线，人工追踪卫星，以期增强信号。高级的玩法是，可以在家里或基地里，使用多单元高增益八木天线阵，然后配合3D旋转器和跟踪控制器，自动追踪卫星，使天线永远正对卫星，以获得最理想的信号。

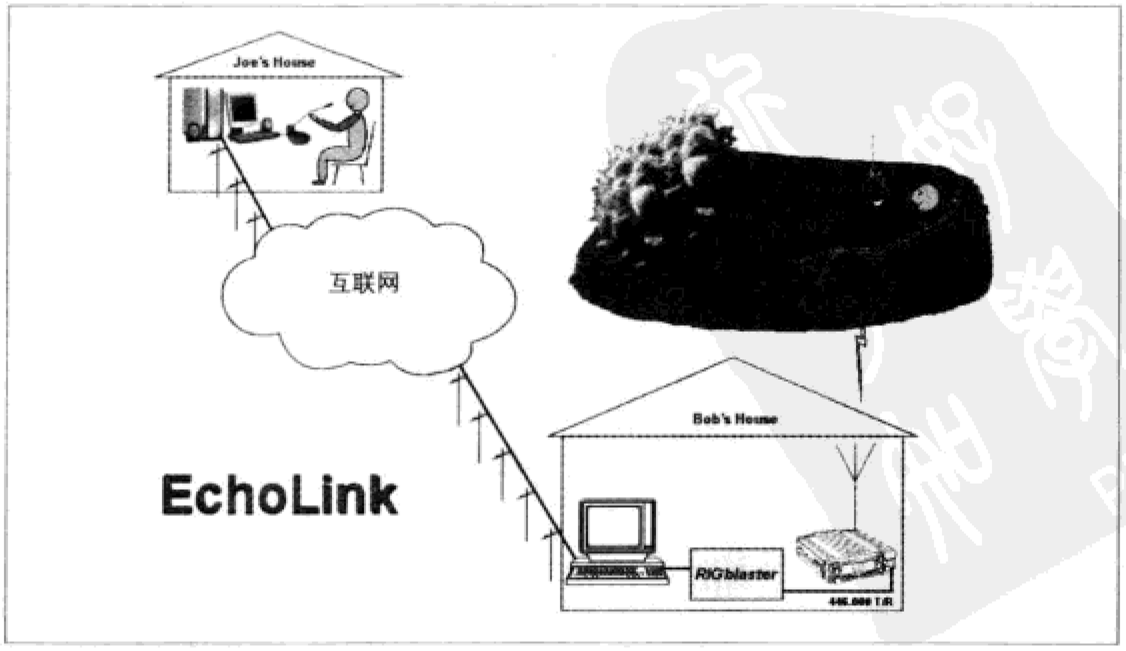
有的卫星提供有线性转发器，需要使用具有SSB模式的设备。另外，由于卫星在高速飞行中，FM信号会出现多普勒效应，所以有些专门为卫星通信设计的电台，具有频率微调补偿功能，以期获得更好的通信效果。目前市场上，KENWOOD的TS-2000、YAESU的FT-847、ICOM的IC-910H都是业余卫星通信的“利器”。

◆ Echo-LINK网际中继站

Echo-LINK是业余电台利用VoIP技术结合传统电台和互联网的新玩法。Echo-LINK的每个节点由一台接入互联网的电脑作为主控，电脑通过简单的接口，将声卡与对讲机的MIC和Speaker连接，并通过串口控制对讲机的PTT，这样就形成了一个网络接入的双向中继站。节点间，电脑通过网络可以双向传输语音。由于网络的延伸，各个节点间可以跨城市、跨省甚至跨国际地传输语音，突破超短波不能远程传输的限制。例如，Echo-LINK利用互联网，可以方便地将北京和上海两个节点连接在一起，这样北京和上海两地的业余电台爱好者通过手持对讲机就能相互通联了。而按



多单元高增益八木天线阵（摘自《天线手册》）



EchoLink原理图

照常规无线电传播特性，北京和上海通过超短波对讲机是不可能直接通联的。玩Echo-LINK的HAM比较多，所以一些器材厂商在新款对讲机中也特别对它增加了支持，如KENWOOD的TM-V71A/D710A就支持Echo-LINK模式，机器后部有专门与电脑声卡和串口直接连接的端子，不必再使用第三方接口盒，简化了对讲机与电脑间的连线。

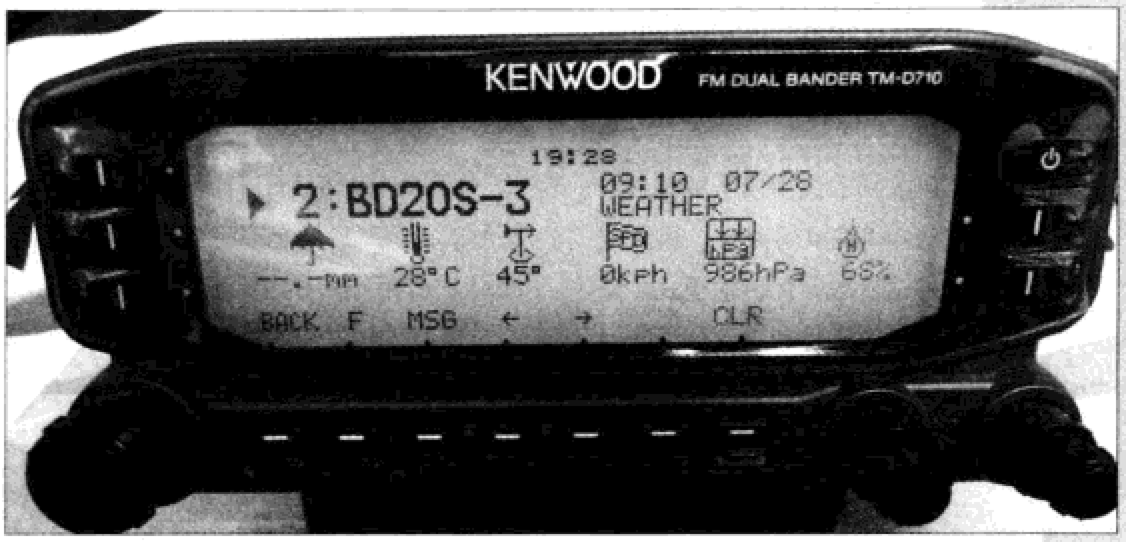
业余电台爱好者利用VoIP传输实现远程联网并不仅仅只有Echo-Link，国外爱好者更早玩的还有IRLP（Internet Radio Linking Project）等，只是Echo-Link目前比较火，更受关注。

◆ APRS追踪定位

APRS（Automatic Position Reporting System）是业余电台爱好者自己定义规范的自动位置报告系统。APRS的传输基础是在电台的无线电信道上传送数据包，其基础应用多是通过业余电台传输定位数据信息。发射端的电台与GPS连接，用于发送GPS解算出来的定位数据，除了经纬度，还可以包括高度、运动速度、APRS台站名称等信息。发射端可以定时自动发送定位数据信息，也可以设定按触发条件发送定位信息。接收端电台接收信道中进行数据定位，并通过软件解码，就能得到远端APRS台站的位置信息。

APRS还有很多高级的应用，通过软件可以扩展对接收到的定位数据的应用。如根据己方已知位置信息计算出对方APRS台站与自己的相对位置和距离，再如连续在电子地图上标定特定APRS台站的坐标，将其连起来就形成相应的运动轨迹。在接收端，用户还可以将定位数据上传到互联网，如果是公开的网站，大家都能看到特定呼号的APRS台站的运动轨迹。

http://aprs.fi就是全球最著名的APRS网站，在上面可以看到国内外一些玩APRS业余电台爱好者的运动轨迹。在玩



TM-D710上显示的气象信息（BD6RC/4提供）

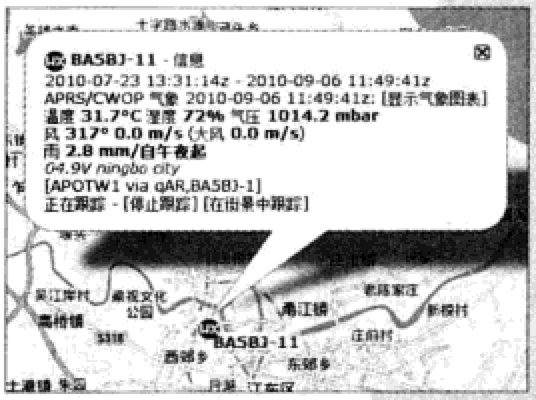
APRS比较集中的地区还有爱好者设立APRS中继或网关，可以使APRS的信号传输得更远，让同城的其他HAM都容易接收到，或使APRS信号利用公共网关上传到互联网上。

APRS的应用在不断发展，还支持短消息的发送。APRS最新的应用是发布实时气象信息。将APRS电台与个人气象站数据连接，就能实施发布个人台站所处位置的气象信息，包括温度、风向、风速等。利用网上APRS气象站发布的气象信息，甚至可以比气象局的公告更实时地获得某地精确的气象实况。

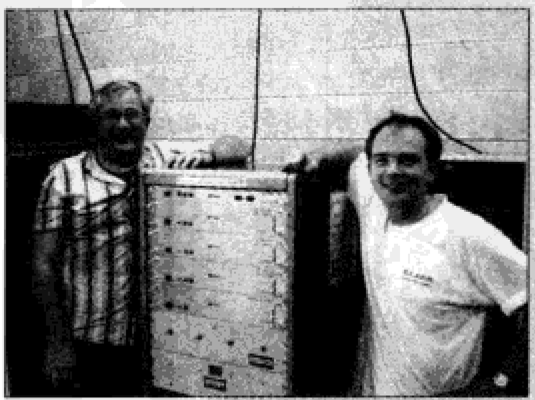
过去玩APRS需要将GPS通过电脑与电台连接，或者不用电脑，发射端通过专用接口控制盒与电台连接。APRS的接口盒远比Echo-Link的接口盒复杂，对于新手比较难完全DIY。网上有一些由资深HAM设计制作的成品和半成品接口盒出售。由于APRS渐渐火起来，也代表了业余电台实用数据通信的发展方向，所以很多业余电台器材厂商都纷纷开发了支持APRS的电台产品，其中KENWOOD TM-D710A和YAESU FTM-350R是目前公认玩APRS的车载电台利器，支持APRS的手持台则有KENWOOD的TH-D72和YAESU的VX-8系列。这些支持APRS应用的电台特点是，内置GPS或支持标准GPS数据输入，不需要电脑和第三方APRS接口盒，就能收发APRS信息。电台内置软件可以直接解码空中APRS的信息并显示出来，使电脑不再是玩APRS必备的装备，提高了整合性和移动性。

◆ D-SATR数字通信技术

D-STAR(Digital Smart Technologies for Amateur Radio)是日本JARL牵头制定的业余电台数字化通信的一个标准。D-STAR



aprs.fi网站上获取的信息（BD6RC/4提供）


KE4ROC和KE4RNB展示他们的ICOM D-STAR中继台（摘自《HF/VHF数字通信手册》）

的基础应用是数字化语音，简单地说，它将模拟的语音经过AMBE编码算法数字化压缩形成3.6bkit/s的数据流，然后经过调制发射出去。接收到的数字信号解调成数据流后，再经过AMBE解码算法，还原成原始语音。这种语音数字化传输模式广泛应用于目前商用的数字移动电话和数字对讲机中，只是编码算法不同而已。业余电台用户可以借此感受到数字对讲机的应用特点和新特性。

除了加密功能和集群功能外，业余电台的D-STAR对讲机与目前商用数字对讲机具有类似的功能和特性。数字化语音的优点首先是提供比传统模拟语音更清晰的话音还原，而且随着接收信号的衰落，语音品质劣化远比模拟信号慢，在数字化语音系统中很少有噪声，这一点与大家使用GSM数字移动电话的感觉是一样的。其次，数字化语音数据流在传输中可以方便地加入各种标志性数据包，包括自动发送自己的呼号或发送短消息字符以及GPS坐标速度等数据。如果利用D-STAR来传输位置坐标数据，就是数字版的APRS。再次，语音数字化后可以方便地通过互联网传输，D-STAR的中继台可以通过互联网或者联网数据链达成异地中继联网，实现多个地区甚至多个国家与城市的联网中继，用户只需要一部小小的D-STAR手持对讲机，就能通过联网的数字中继与远在百里之外的HAM达成通联。

目前，在欧洲、美洲以及亚洲的日本已经有很多业余电台的D-STAR联网节点。利用D-STAR来中继联网与Echo-Link有异曲同工之妙，只不过D-STAR是全数字化的。ICOM公司是D-STAR的主力推动者，并提供了全套D-STAR成品设备，包括手持台、车载台、中继台、网关、链路设备等。考虑到目前业余电台通信依然以模拟调制为主，所以ICOM主力的144/430MHz手持对讲机和车载台，如IC-92AD、IC-80AD、ID-880H、IC-2820H+UT123，都是双模式产品，可以方便地在数字和模拟状态之间切换。

◆ PSK31

PSK31是传统RTTY无线电电传的更新形式。PSK31属于窄带数字方式通信，优点是占用很窄的频谱，实现字符的收发。虽然PSK31传输速率不高，但应付打字交流速度还是可以的。PSK31抗干扰能力很强，可以在人耳无法分辨的信噪比条件下完成字符传输，很多使用过的HAM都惊讶它的性能。从这点上看，PSK31比SSB甚至CW更具优势，也成为老HAM远距离通信的利器。PSK31主要应用于短波，同样也可以在V/UHF超短波波段上进行通信实验。

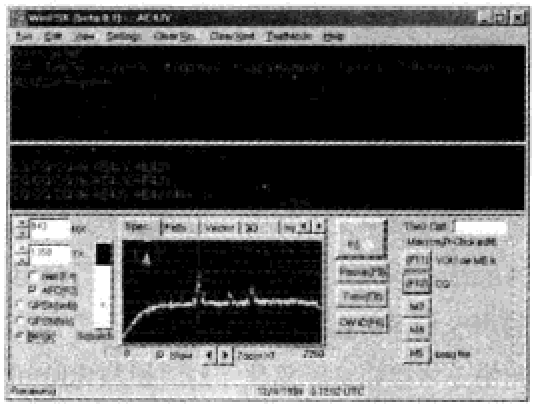
PSK31之所以被很多业余无线电爱好者看好，除了其具有优秀的传输特性外，玩PSK31成本低廉。想玩PSK31的朋友只要在个人电脑上安装一个很小的软件，然后将电台与电脑通过几根电缆连接即可，花费很低，而且很多PSK31软件都是免费的，使用PSK31就像使用QQ群一样，通过键盘交流。

◆ SSTV慢扫描图像通信

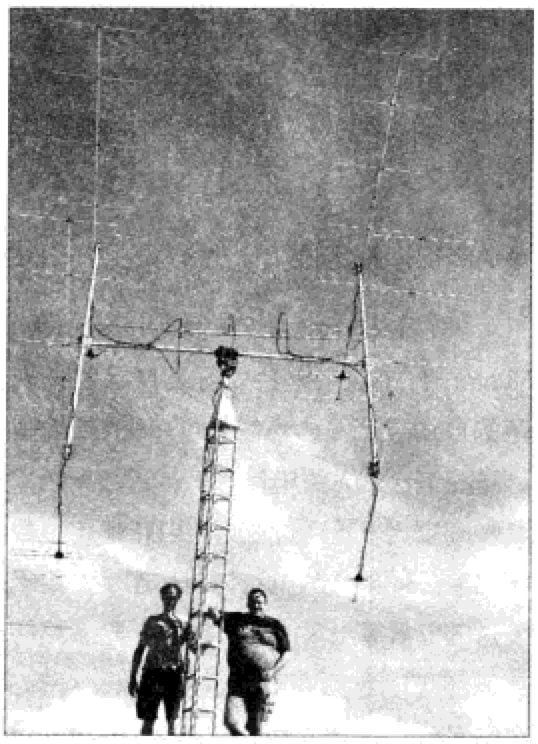
SSTV（Slow-scan television）被称为慢扫描电视，与专业的无线气象传真在技术上同源。SSTV不是语音通信，属于图像通信。理论上，它将一副图像分割成诸多细小的像素点，然后通过无线电信道依次发送，其图像传送原理与电视像素扫描类似，只是速度慢得多。

SSTV有多种传输模式，传输一副图片快则30秒，慢则需要110秒，所以被称为慢扫描。用户在接收SSTV图像时，可以明显地看到图像由一条条的扫描线逐渐还原而成。图像通信与传统语音通信不同，可以在电脑上直接看到各种漂亮的彩色图片，同时图片上还可以叠加上自己的呼号和给对方的信号报告，成为即时传送的电子QSL卡片。

玩SSTV不需要投入很高的费用，与



全景式接收的PSK31软件WinPSK

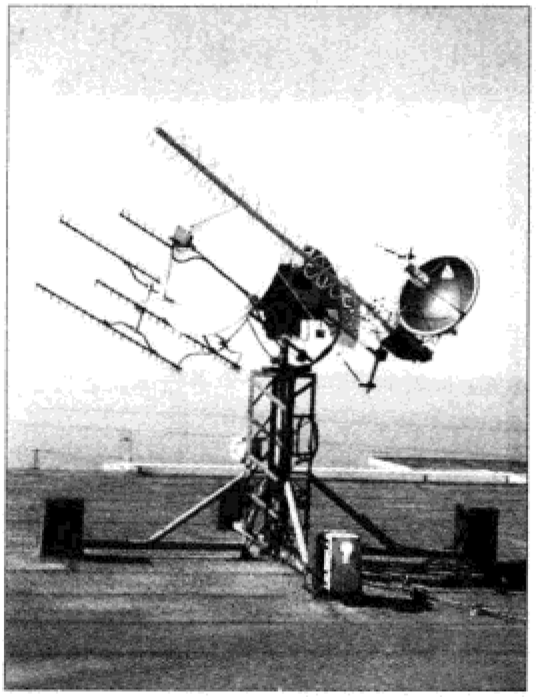


PE1L与PA3CNX在加勒比海一个岛上安装的2m EME电台，并将4副2m八木天线组成相控阵列。（摘自《HF/VHF数字通信手册》）

玩PSK31和Echo-Link一样，只要在电脑上装上简单的免费软件，如MMSSTV，再通过简单的接口将电台与电脑连接即可。对于尝鲜者，甚至不需要使用电脑连接线，直接将电脑的话筒靠近电台的扬声器，就能在电脑上临时解调出SSTV传输的图像。

◆ EME月面反射通信

EME是Earth-Moon-Earth的缩写,被称为月面反射通信，这是业余电台的一项高端通信实验。EME是利用天体月球作为反射面，实现远距离反射通信，就像一束灯光射向镜子，然后被反射出来一样。由于



Domenico（I8CVS）的卫星天线群，从左到右分别是：工作在L波段水平极化的4 ×23单元八木天线阵列，采用3圈螺旋馈源的S波段1.2m直径碟型天线，工作在U波段的15圈RHCO螺旋天线，X波段60cm碟型天线。所有的微波前置放大器和功率放大器都是自制的，并安装在这些天线丛之中。（I8CVS拍摄，摘自ARRL《天线手册》）

地球到月亮距离比较远，而且传输路径中损耗很大，所以进行EME不能使用普通的对讲机，需要很多高级器材，如支持SSB的超短波收发信机、大功率的功率放大器、高增益天线阵列、3D天线转向器、低噪接收信号放大器等，花费成本很高，工程也比较大。地球到月亮的往返距离甚至足以感觉到电波传播速度的延时。尽管EME通信难度大，成本高，但依然不能阻挡一些业余电台发烧友的热情，反而知难而进，并且已经有一些业余电台爱好者获得了成功通信的记录。

◆ 1200MHz新频段的应用

新频段的拓展是业余电台爱好者探索永无止境的表现。在短波、144MHz和430MHz广泛应用之后，一些业余电台爱好者开始向更高频段的1200MHz波段进发，探索更高频段的传播特性和天线制作。由于1200MHz波段波长比较短，所以以前在144/430MHz波段因体积过大而难以制作的一些天线得以实现，包括抛物面天线、喇叭口天线、平板天线、螺旋天线、超多单元的八木天线等。在1.2GHz频段，国际ITU划分给业余电台有40MHz带宽，所以在这一频段，除了传统话音通信使用，占用带宽较多的高速数传和ATV业余电视成为可能。在1.2GHz频段，比较容易得到小尺寸的高增益天线，但同时高频率信号在馈线传输中的损耗也会加剧。对于业余电台爱好者来说，新波段，新特性，是机遇，也是挑战。

市场上支持1200MHz波段的机器虽然不是很多，但还是有一些成品，KENWOOD、ICOM的包含1200MHz的车载机和手持机是比较多见。

◆ 73kHz/136kHz挑战超低频率

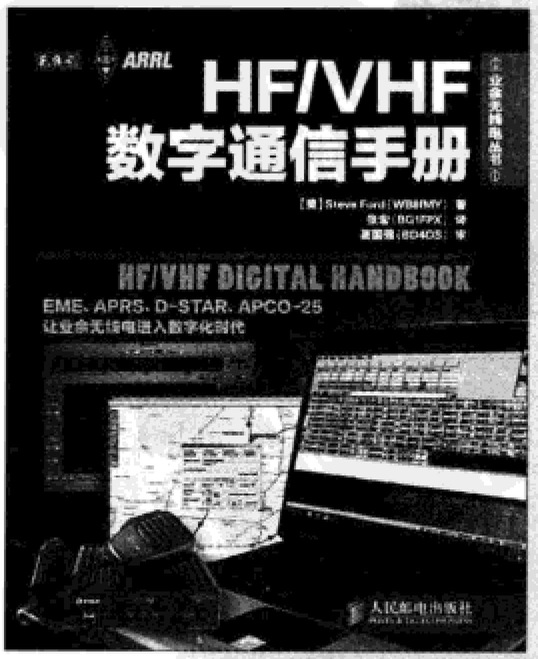
业余电台爱好者在不断探索更高频率波段的时候却有部分HAM向更低的频段拓展。国外业余电台爱好者继160～190kHz 频段后，向更低频率的73kHz/136kHz进军。73kHz/136kHz属于长波波段，与短波波段的传播方式和特性有所不同，有外国HAM成功地在136kHz波段达成了数千公里的通信。长波所用天线的形式也有所不同，如果按照传统短波标准天线设计长波天线将占地巨大，业余电台爱好者尝试使用各种小型天线如环形天线、磁棒天线等进行试验。市场上成品的业余长波收发信机基本没有，好在工作频率比较低，所以一些业余电台爱好者自己设计制作器材，此外也有HAM利用仪器作为接收机或使用一些退役的军用设备可谓集思广益，物尽其用。

◆ 无线电测向旧貌换新颜

无线电测向作为一个古老的业余电台衍生活动在近年再次兴起，并在新时代中被赋予新的元素。

业余电台爱好者将无线电测向称之为“猎狐”，隐藏的目标电台被称为“狐狸台”。与正规的体育无线电测向比赛不同，业余电台爱好者自发的比赛，规则比较宽松，也比较休闲。首先，没有限制比赛所用的测向设备；其次，测向场地也是因地制宜，可能在公园，也可能在度假村，对体能的要求不高。活动之后往往就是HAM交流休闲的聚会。业余电台爱好者充分利用手中现有的通信设备和知识来改制成具有示向特性的测向机。天线可以是DIY的八木天线、环形天线、框型天线、TODA天线，甚至是叫不上名的古怪天线，只要有指向性、好用的天线都行。接收机可以是有信号强度显示的对讲机加上DIY的衰减器，也可以是昂贵的专业场强接收机，或者便宜的电视场强仪，正所谓“八仙过海，各显神通”。“狐狸台”是一部微功率发射的对讲机或用简单电路构成的振荡器，可能隐藏在树林灌木丛中，也可能藏身于垃圾桶。业余电台爱好者手里的无线电测向器材虽然比不上国际顶级的专业测向设备，但土枪土炮配合土办法，依然卓有成效。业余电台的测向不仅用于娱乐休闲，也有很强的实用意义，有些业余电台爱好者利用DIY的装备，也成功地找到了干扰业余电台合法频率正常通信的干扰源，为保障业余电台的正常有序通联做出了贡献。

（编者注：读者可通过《HF/VHF数字通信手册》详细了解更多关于无线电在数字通信中的应用。）



2011中国（深圳）消费电子展
China Consumer Electronics Fair 2011 (Shenzhen)

2011年4月8—10日

Since 1964

第77届中国电子展
77th China Electronics Fair

第77届中国电子展 深圳展特别报道

◎王丰硕

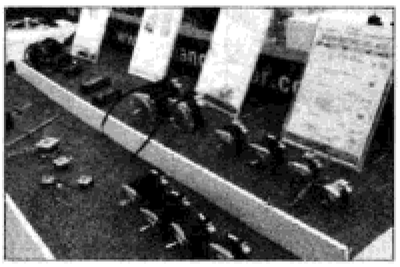
中国电子展（CEF）始于1964年，是中国历史最悠久、最权威的电子行业展会。第77届中国电子展深圳展于2011年4月8～10日在深圳会展中心举行。电子信息产业已成为珠三角工业增长的“火车头”，形成了以计算机与外设、软件、通信、微电子与基础元器件、视听产品等电子信息产业为代表的战略产业群，以年均66%的速度增长，也是深圳工业经济成长性最好、竞争力最强、关联度最大的支柱产业。

4月9日，笔者来到了展会现场，以工程师的视角，为大家做一个特别报道。

受今年国际经济低迷、出口贸易下滑的影响，今年的的参展商数量明显减少，一共只有两个半展厅。

信浓马达

信浓马达成立于1918年，总公司位于日本长野县。信浓马达具备生产精密电机的最先进技术，可以生产用于办公设备、家电、住宅设施等方面的STEP电机、DR电机、AC电机、多面镜电机等4大类1000多个型号的电机。据说信浓马达自成立以来，保持了80多年的盈利。中日合资公司——东莞信浓马达有限公司于1994年3月成立，目前已成为东莞乃至广东的知名企业。

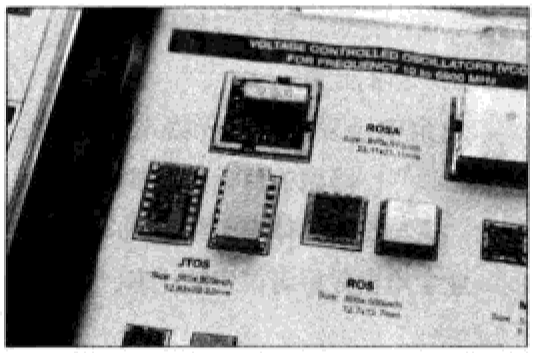


虹扬电子

HY品牌的整流器也许很多工程师都很熟悉。扬州虹扬电子有限公司在CEF上展出了整流器产品。虹扬电子是一家集各种整流器生产、销售、研发于一体的大型企业，隶属于台北总部虹扬综合科技有限公司，年产二极管约18亿只、桥式整流器约1.2亿只。

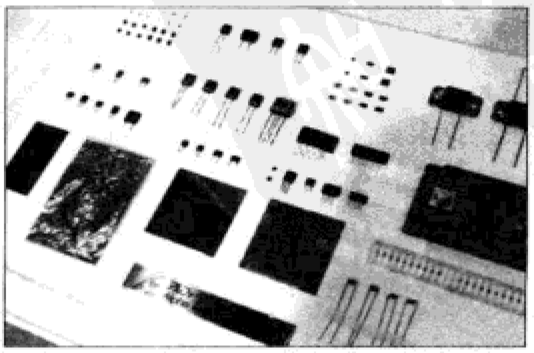
Mini-Circuits

美国Mini-Circuits公司是全球领先的射频微波电子器件和模块厂商。Mini-Circuits公司的很多元器件可以工作到20GHz。下面的图片是Mini-Circuits出品的用于通信设备的VCO。



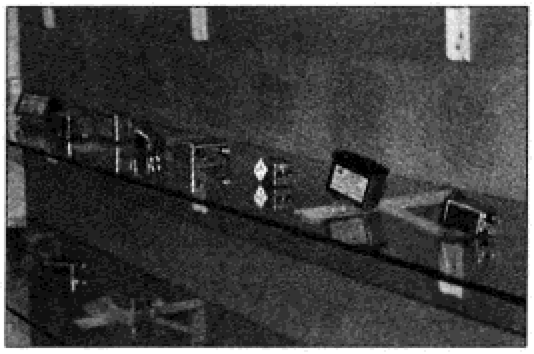
Alpha电子

日本Alpha电子有限公司隶属于Visha集团，利用特殊的工艺雕刻生产超低漂移的精密电阻，长期稳定度可以做到3×10^{-6}/年，温度系数控制在0.13×10^{-6}/℃，可用于精密仪器等领域。



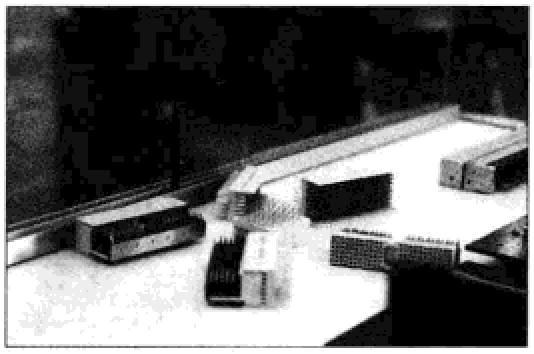
坚力电子

常州坚力电子有限公司是国内规模和研发实力并举的EMI/EMC电源滤波器制造商。自20世纪60年代生产滤波器以来，积累了50多年的专业制造经验。公司生产的电源滤波器广泛应用于仪器仪表、医疗设备、电力电源、通信电源、UPS、变频空调和电梯设备等，还多次作为洲际火箭、电子方舱、运载火箭、考察船及飞船系列等国家重点工程的配套设备。



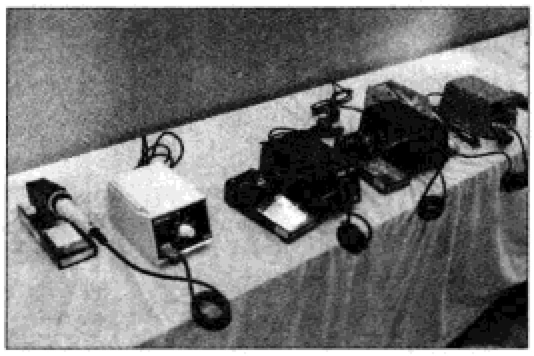
中航光电

国内规模最大的专业从事高可靠光、电连接器研发与生产的中航光电科技股份有限公司（158 厂）隶属中国航空工业集团公司。在本届 CEF 展上，中航光电展出了新研发的 H2、VME 系列连接器，主要应用于各类通信设备内部、板间信号传输连接，适合在军用恶劣环境下的使用。在 3.15GHz 这样疯狂的频率下，眼图测试结果依然非常优秀，填补了国内军用CPCI和VME连接器的空白。



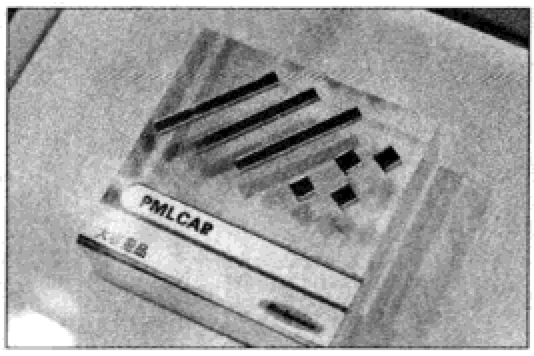
黄花电子

电烙铁老厂黄花电子厂也参加了本届 CEF，展出了新的 ESD 防护烙铁，做工精细。



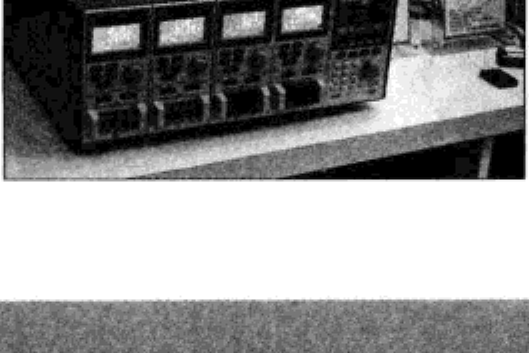
红宝石

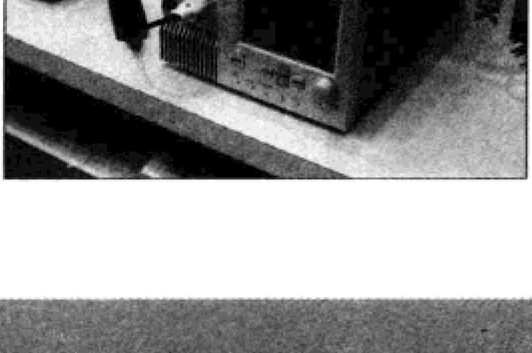
日本红宝石（Rubycon）有限公司也参加了本届CEF。红宝石制造电容，自1952年4月创业以来已经有60年的历史了。看看展柜里面小水桶般大的500V/12000μF电解电容，真的是很开眼界。展会上，红宝石公司还展出了最新的PMLCAP（薄膜高分子积层电容）。这种电容的电介体采用1μm以下的高分子薄膜，实现了小型化且大容量。电容本身的高频特性及温度特性十分卓越。



固纬电子

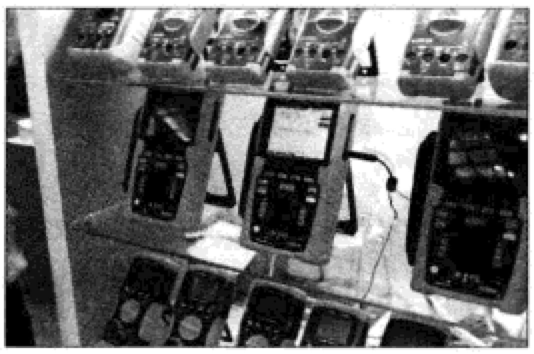
固纬电子展示了电子负载，每个单元可以达到最大70A的电流容量。固伟电源的性价比很高，笔者就在使用。这次他们展出了可任意编程的交直流混合电源。





安捷伦

安捷伦发布了多款手持式万用表和示波表，《无线电》杂志已经多次介绍过。



罗德施瓦茨

德国罗德施瓦茨公司（R&S）强力进军示波器行业。R&S RTO数字示波器的采集率高达每秒一百万个波形，在市场同类产品中是最高的，可以极快地找到信号故障。其低噪声输入放大器和模数转换器的动态范围极为出色，有效位不低于7位，测量波形受到的噪声污染极小。R&S RTO可以配置2通道和4通道，带宽可以是1GHz和2GHz，最大采样率为10GSa/s。虽然笔者是安捷伦MSO系列示波器的忠实用户，但是看到R&S RTO出众的性能、令人赏心悦目的工业设计，真的想再拥有一台。Ⓦ

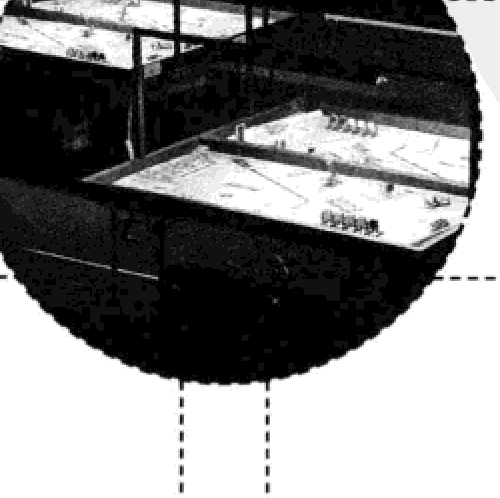
FLL机器人世锦赛
中国公开赛成功举办

为促进机器人这一青少年喜闻乐见项目的发展，由中国科技馆、FLL机器人世锦赛中国公开赛组委会、北京学生活动管理中心共同主办的2011 FLL机器人世锦赛中国公开赛于4月9日—10日在北京市十一学校举办。

FLL机器人项目是一项旨在拓展青少年在科学、技术、工程学等领域的眼界和思维，培养他们的团队合作精神和创造力的青少年机器人项目。比赛不仅注重科学素质的培养，而且也对参赛队员的艺术表演、礼仪道德等人文素质进行评估。此项目于2003年引入中国，参赛队伍的规模逐年增加，截止到2010年备案

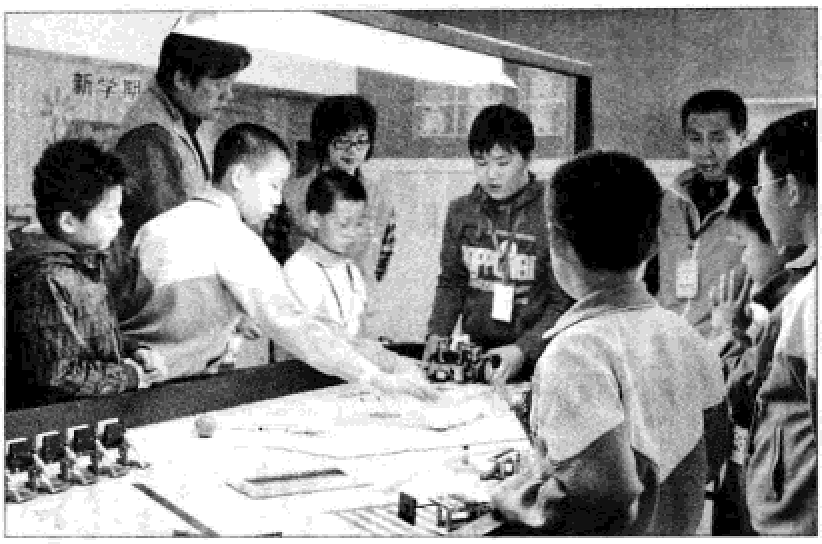
既然是机器人大赛，开幕式上自然有机器人表演舞蹈和太极拳。

1. 杭州二中获得冠军
2. 山东潍坊四中初中部尚文中学获得亚军
3. 西觅亚公司知春路乐高队获得季军



FLL比赛在一个特别设计的赛台上展开，由机器人按照调试好的程序来自主完成各种指定任务。今年的任务都与“生命科技”相关，有20项左右，完成不同任务可获得不同分数。

每个参赛团队还要做一项关于生物医学工程的课题研究，小队员可以穿着富有创意的服饰参加论文答辩。


小队员在进行技术答辩。

参加省一级比赛的队伍已达到约1200支。今年，仅参加北京选拔赛的队伍就达到了96支。2011 FLL机器人世锦赛中国公开赛主题为“生命科技”，来自全国22个省市的996名队员角逐各奖项。

本届比赛具有以下几个特点：

科学与艺术结合，竞赛形式与国际竞赛接轨

除强调研究结果的场地竞赛外，还有强调研究过程和艺术表现的项目研究答辩，强调团队精神和道德风尚的场地问询，强调创新能力的技术问辩等。同时，为了进一步与国际比赛接轨，组委会精心设计场地布局，拉近了选手与观众间的距离，使更多人能感受到FLL比赛现场的魅力。本届比赛还为各参赛队提供了个性化展示空间，在这个空间里，同学们可随意布置，介绍自己的团队，或是展示所在学校、地区、城市，甚至民族特色、地区特产等。

尊崇公益，整合资源

FLL机器人竞赛一直秉承公益性原则，参赛学生不缴纳任何参赛费。比赛所需经费由企业赞助或政府专项资金支持，在整合社会资源和提高活动公益性方面进行了有益探索。为了充分利用科普资源，发挥科普场馆优势，本届比赛邀请所有参赛队员参观中国科学技术馆，让其体验科学的神奇与美妙，感受现代工程技术的快捷与便利。

裁判队伍在国内领先，起到引领示范作用

参赛队的比赛成绩涉及多种能力的考察，4个裁判组分别考察参赛队的研究能力、交流能力、表达能力、社交能力、团队合作及道德风范等。目前，这支裁判队伍是国内FLL各级竞赛中最全面的裁判队伍。

奖项设置不断创新

为了强调各参赛队伍、队员间的团队合作精神，鼓励各个队伍的个性化、多元化的发展与展示，营造更为轻松、热烈、和谐的比赛氛围，本届比赛在原有奖项的基础上，特设置了团队合作奖、个性化展示奖及“魅力四射”啦啦队奖。

经过激烈角逐，最终杭州二中代表队获得冠军，将代表中国参加6月在荷兰举行的FLL机器人世锦赛。山东潍坊四中初中部尚文中学和西觅亚公司知春路乐高队分别获得亚军和季军。

比赛现场。

比赛时，除了需要紧急修复以外，同时只允许两名队员上台参赛。

知春路乐高活动中心队专访

带你走近FLL机器人世锦赛

◎叶侨

FLL（First LEGO League）世界锦标赛是由美国FIRST非盈利性机构和丹麦乐高集团合作主办的针对9～16岁孩子的国际性机器人比赛，全球有40多个国家和地区参赛，每个国家或地区选拔出优秀队伍参加世界锦标赛。2011年的世界锦标赛在荷兰举办。

FLL比赛具体分为场地竞赛、课题研究问辩、技术问辩、场地合作4个方面。

场地竞赛为机器人工程挑战赛，主要展示参赛队员的机器人技术。

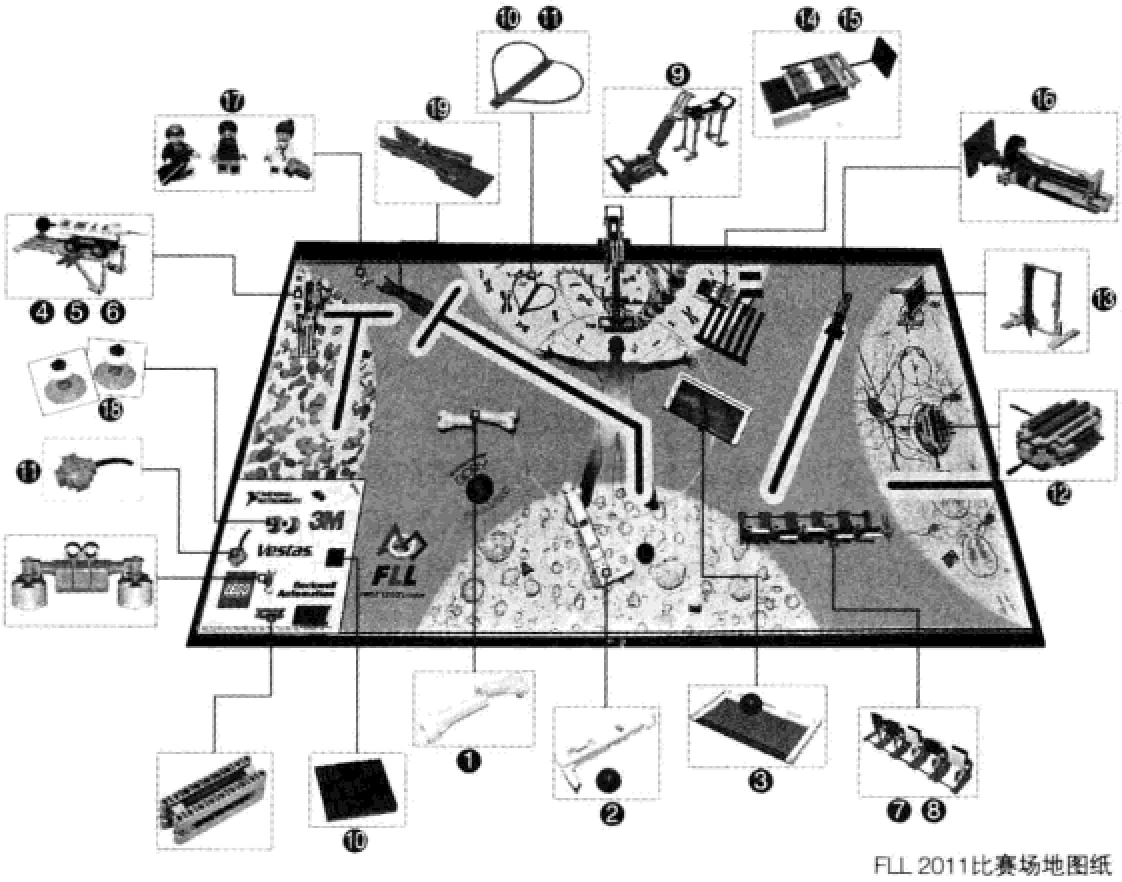
课题研究主要是对队员根据今年比赛的主题所设计的课题进行考核。考核内容包括课题的提出及研究过程、解决方案的可行性、研究成果的展示与分享。

技术问辩主要考核队伍机器人设计的创新性、结构和编程，还有队员解决问题的方法和策略。

场地合作主要考查队员们在比赛和研究过程中的分工与合作、道德精神面貌以及对自己队伍的个性化展示。

今年FLL比赛的主题是“生命科技”。场地任务主要有：一般性骨折修复、特殊性骨折修复、快速血液筛选、剔除坏死细胞、掌握机械手专利、修补心脏、安装心脏起搏器、研究神经映射、通过思维控制事物、自动配药、机器手灵敏度测试、专业的团队、安装仿生眼、安装血管内支架。

这些任务究竟是如何用机器人完成的？本刊采访了荣获本届中国公开赛季军的知春路乐高活动中心队的叶侨教练，请他为我们揭晓答案。

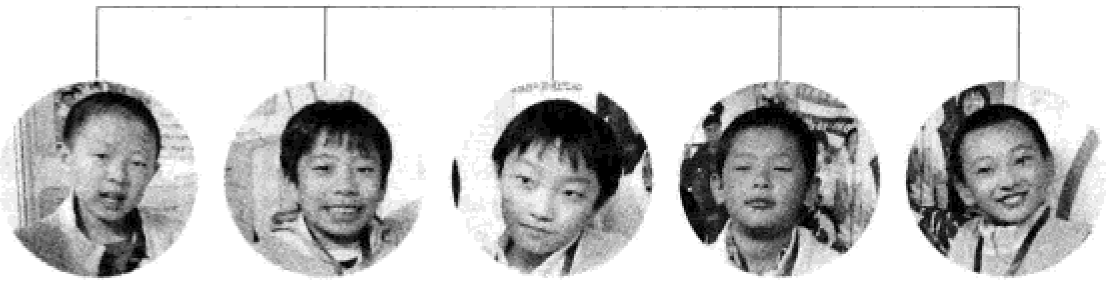


FLL 2011比赛场地图纸

普通骨胳修复	❶对正臂骨，然后扣上蓝色的石膏模，石膏模要一直向下。
特种骨胳修复	❷插入骨桥：把骨桥完全插入腿骨。
	❸球进入球门：只能通过腿和骨桥来带动脚将球踢入球门（机器人只能转动其腿部），球必须接触球门中的绿色区域。
快速血液筛选	❹回收注射器：设法将注射器送入基地，注射器回到基地里。
	❺运送白血细胞：将3个白血球全部送入病人区（场地东边非橙色区的任何地方）。
	❻拯救机器人惩罚物：当选手接触了在基地以外区域的机器人时，裁判会将一个血红细胞拿出场外，每次一个，拿完为止。
剔除坏死的细胞：随机地，至少有1个坏死的细胞（黑色平板）面向南方，其他朝北。机器人只要一出基地，裁判员可能随机安排模型，直到机器人第一次使小板发出咔哒声。以下两项只能有其中一项得分。	❼识别：使所有黑色平板朝上或朝北，表示你已经识别了坏死的细胞。
	❽剔除：使所有黑色小板只朝北，表示你已经摧毁了坏死的细胞。

知春路乐高活动中心的成员

小组成员



小选手们都是知春路乐高活动中心的会员，来自不同的学校。他们在很小的时候就来到中心上课了，可以说这里也是印证他们成长的地方。这几个孩子有一些共同点：动手能力强、思维活跃、有创造力。乐高活动中心提供了这样一个让他们展示自己、实现创造力的平台。所以从来到乐高活动中心第一天起，他们就在这里扎下了根。

知春路乐高队是如何准备比赛的

每年FLL比赛的主题在网站上公布以后，各支队伍就开始着手准备比赛。今年，知春路乐高活动中心队从组队到培训做解决方案，再到北京区选拔赛，共花了两个月的时间。小选手们每周来1～2次，一次2小时，赛前还有几天集训。晋级全国赛后，又进行了一个月的培训。

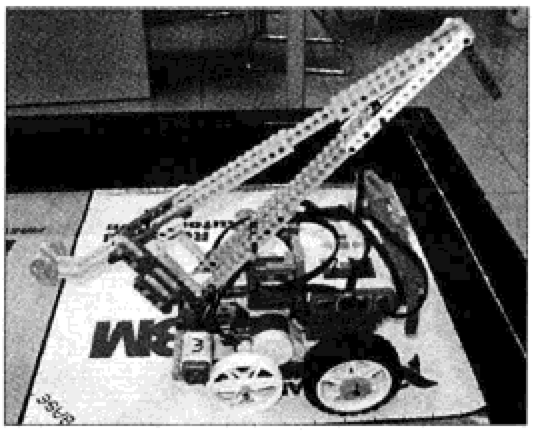
培训的前期，主要是给小选手们讲解比赛内容以及比赛规则，根据比赛的4个方面给每个孩子分配任务。中期主要是针对分值比重较大的场地任务做出解决方案。后期主要是优化方案以及各个项目的彩排和反复练习。

做场地解决方案前，叶教练把小选手们分成两组，分别进行准备，让每个孩子都能展示自己的想法、发挥自己的长处。最后集合两个小组进行讨论，整合出一套最优方案。

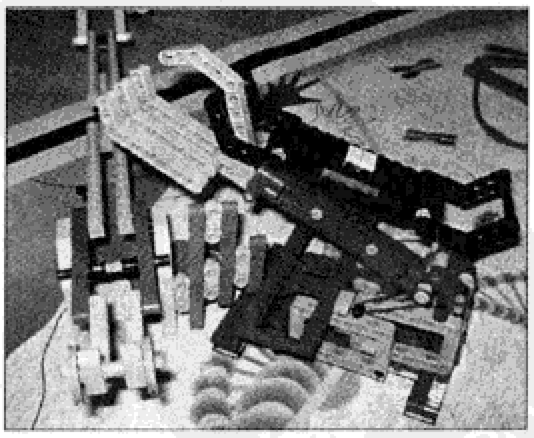
掌握机械手专利	❾让任务模型“机械手”抓住专利。如果两边的手都抓住专利，两队均得到这项任务的满分。
修补心脏	❿让心脏补丁进入心脏。
安装起搏器	⓫把起搏器装到心脏中，使黑管的自由端进入心脏，但起搏器的灰色本体在外面。
研究神经映射	⓬推动大脑的西侧输入神经，同时东侧的一个红色信号移出。
目标的思维控制	⓭只推动大脑南侧的输入神经，使门至少半开。
自动配药	⓮配药：从配药器推出所有蓝、白色药片，但保留粉色药片。
	⓯送药：还要把装有蓝色和白色药片（至少各一片）的容器送进病人区。
机械手灵敏度测试	⓰只推机械手上的蓝色小板，使重物被向上举起。
专业团队	⓱把医生和生物医学工程师移动到病区会见患者，使3个小人全在病区内。
安装仿生眼	⓲至少移动 1 个仿生眼，使它与位于场地中央的人的上半身（含轮廓）接触。
安装血管内支架	⓳让支架进入血管。

机器人完成任务的过程

1 第一次出发：为了能更快地完成专利任务，我们设计了折叠式的机械手臂。



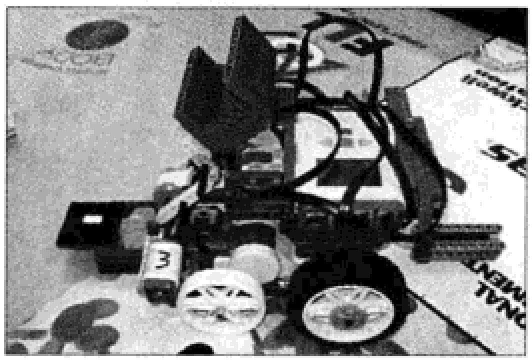
出发前



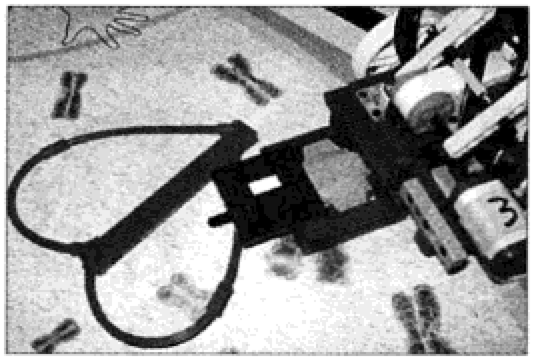
完成任务后

2 第二次出发：这次机器人完成普通骨骼修复、修补心脏、安装起搏器、安装血管内支架的任务。

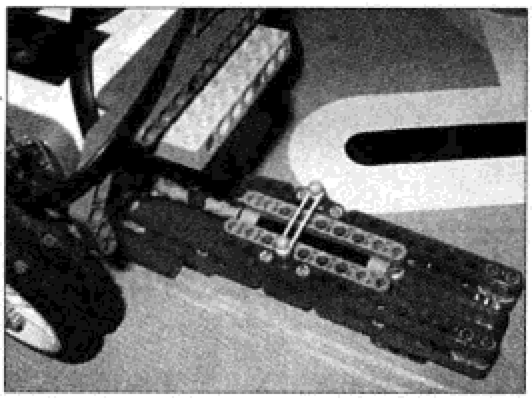
出发前：



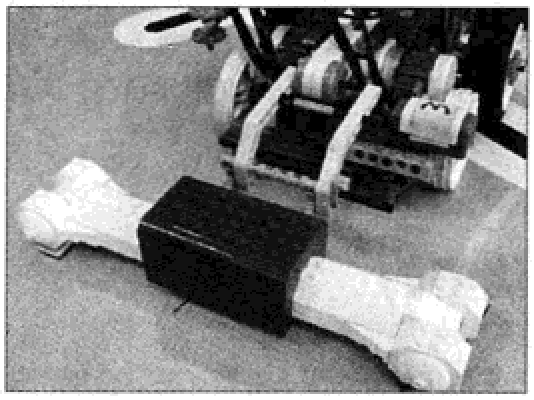
修补心脏、安装起搏器：



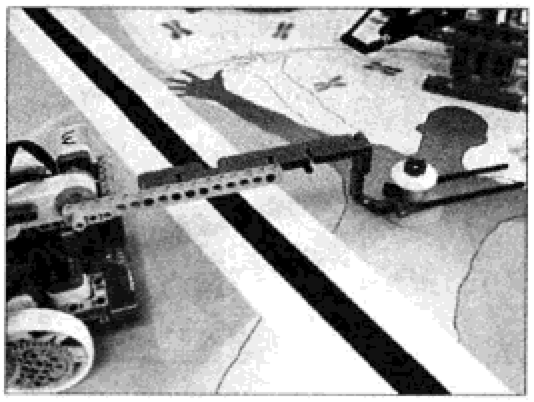
安装血管内支架：



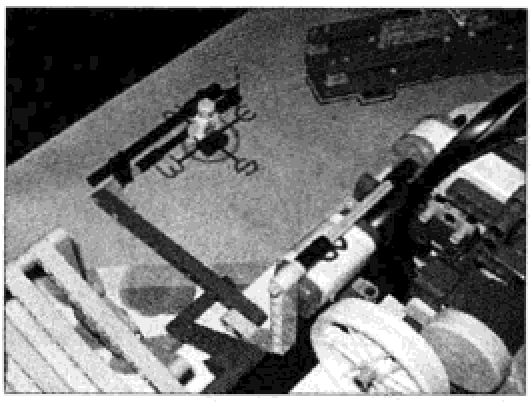
普通骨骼修复：



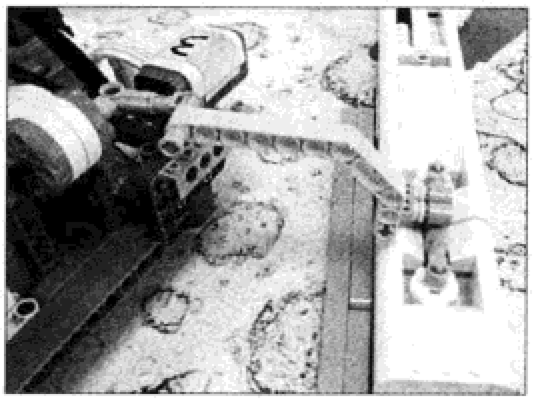
3 第三次出发：安装仿生眼。



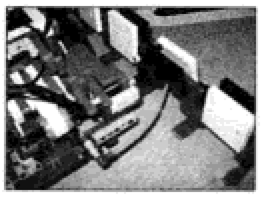
4 第四次出发：快速血液筛选。

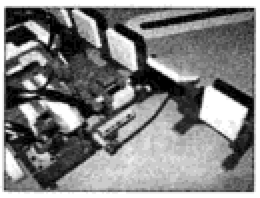


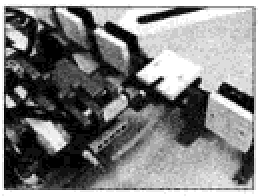
5 第五次出发：特种骨骼修复。

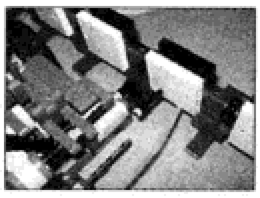


6 第六次出发：剔除坏死细胞。

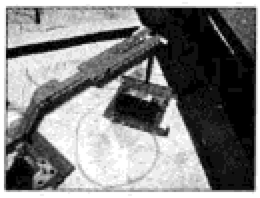


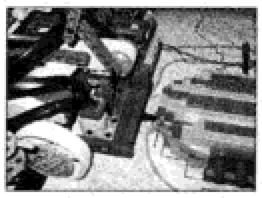


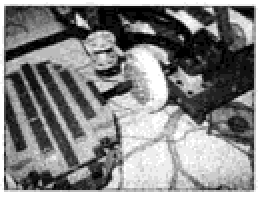


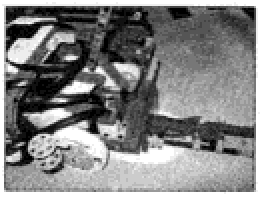


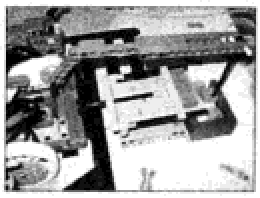
7 第七次出发：研究神经映射、自动配药等。

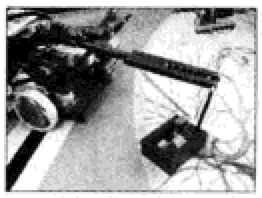












FLL比赛的乐趣

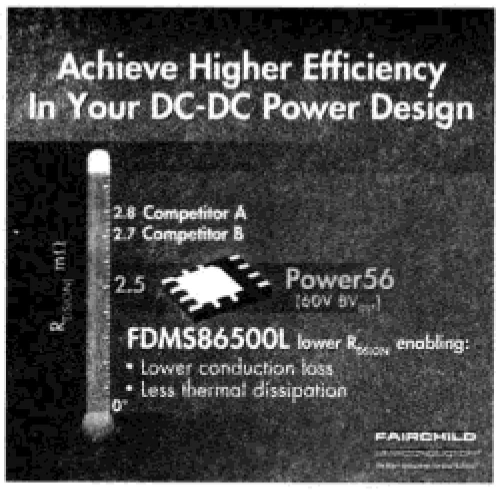
机器人给孩子们带来了无限的乐趣。来到中心上课的孩子，心情都是轻松愉快的，因为这里能够充分发挥他们的想象力和创造力，把一个个零部件组装成一个个作品。这些作品是他们自己设计的，是独一无二的。他们就像是小小发明家，非常满足。

FLL比赛是孩子们的节日，是孩子们的盛会。来自四面八方的队伍都来欢度这个节日，孩子们互相交流、互相学习，在他们的成长历程中也将是非常美好的回忆。

飞兆半导体推出60V PowerTrench MOSFET器件

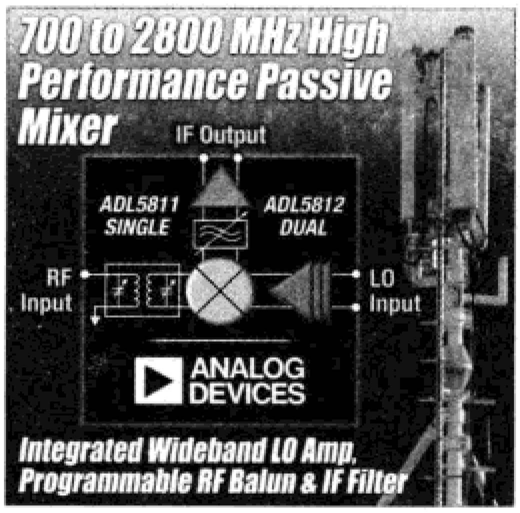
飞兆半导体公司（Fairchild Semiconductor）开发出N沟道PowerTrench MOSFET器件FDMS86500L，以满足设计人员对降低传导损耗和开关损耗的需求。该器件经专门设计，以最大限度地减小传导损耗和开关节点振铃，并提升DC-DC转换器的整体效率。FDMS86500L是采用行业标准5mm×6mm Power 56封装的器件，它结合了先进的封装技术和硅技术，显著降低了导通阻抗，实现更低的传导损耗。该器件还具有更好的品质因数、高效率和低功耗的特色，以期满足效率标准和法规的要求。

FDMS86500L使用屏蔽栅极功率MOSFET技术，提供极低的开关损耗，结合该器件的低传导损耗，可为设计人员提供其所需的更高的功率密度。它还采用下一代增强型体二极管技术，以实现软恢复、MSL1稳固封装设计。



ADI 推出具有宽带性能的多频带通信混频器

ADI推出面向通信应用的宽带无源混频器：单通道混频器ADL5811和双通道混频器ADL5812。这两款混频器具有出色的线性度、低失真、低噪声和卓越的宽带频率性能。新器件集成一个宽带LO（本振）放大器、一个可编程RF巴伦、一个高线性度混频器内核、一个可编程IF滤波器和一个IF放大器，为设计多频段、单板接收机提供了可能。



该混频器在单个器件中支持宽达700~2800MHz的频率范围，其输入三阶交调为24dBm，SSB噪声系数为11dB，功率转换增益为7dB。这些性能规格在整个工作频率范围内保持稳定。ADL5811和 ADL5812无源混频器设计用于宽带无线基础设施应用和软件定义无线电应用，包括多频段/多标准蜂窝基站接收机、宽带无线电链路下变频器、多模式蜂窝中继器和微微蜂窝应用。

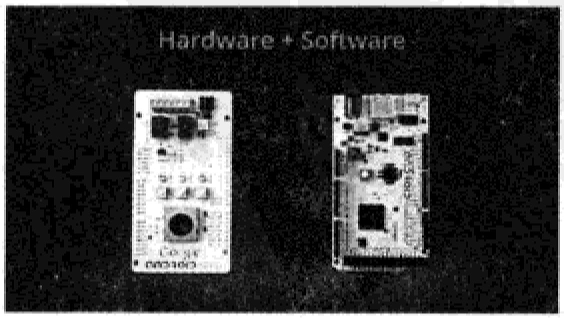
力科推出12位ADC的示波器

力科公司推出了12位ADC的示波器WaveRunner HRO 6 Zi系列。该示波器除了具有工业上最领先的12位模数转换器，长存储256Mpts/ch和卓越的DC精度指标外，还具有强大的串行数据分析能力。从专业技术指标上来看，WaveRunner HRO系列信噪比（SNR）高达55dB，DC垂直增益精度高达±0.5%。由于具有大范围的垂直偏移和水平时基偏移调整范围，用户可以更加自由的实现信号的垂直和水平方向的放大，从而更加容易地进行信号或者放大器的性能评估。该示波器提供了可旋转的屏幕显示方式，可以根据需要清楚地在水平或垂直方向上观察信号的细节。

Google发布基于Arduino的ADK开发工具

Google在其I/O 2011年的大会上推出了一个新的标准——Android Open Accessory Standard，这个标准可以兼容Android的外围设备，还会有一个专用的API（应用程序编程接口），使用此API设计的外围器件，可以让配有Android操作系统的手机或平板电脑直接使用或驱动。

同时，Google还发布了一款命名为“ADK（Android Open Accessory Development Kit）”的开发工具，它是基于Arduino平台开发的。ADK的主要硬件和软件组件包括基于Arduino的USB微控制板、为此USB控制板开发的相关库文件，以及在开发板上能够运行的Arduino程序等，这样可以让Android的外围厂商更方便地进行相关功能的开发应用。



小型电子工作室仪器选购

老生常谈万用表

◎杨法（BD4AAF）

电子工作室配备相关必要的电子测试仪器和工具可以大大提高工作效率。很多电子和无线电信号参数看不见、摸不着，必须通过专用仪器进行测量。本系列文章立足于小型的电子工作室，无论是创业的小公司，还是个人电子爱好者，或者是开展基础电学实验的学校。笔者希望通过这一系列文章，按照仪器通用性程度，为他们的实验室仪器配置逐一提供一些选购策略。由于小型电子工作室的仪器购买预算往往比较有限，所以本系列文章着重介绍高性价比的实用型仪器，仪器原则上尽量选购全新的名牌产品，这样的产品在质量和售后服务上都有保障。

随着国产仪器业的兴起，很多仪器都大大放低了门槛，同时国产仪器大举进军中低端仪器市场，产品品质也有很大的提高，这使广大电子爱好者有机会用上了价廉物美的国货仪器，完善的操作界面和中文说明书也使很多用户摆脱了一直以来需要阅读进口仪器“洋文”的困扰。对于一些高价值的精密仪器，本系列文章也还会介绍一些二手仪器方面的选购。

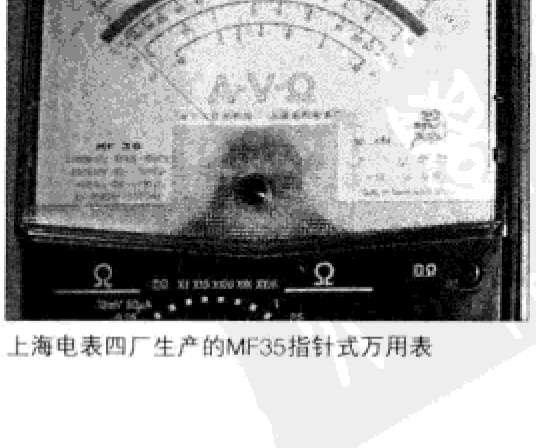
作为小型电子工作室仪器选购的第一篇，首先介绍万用表的选购。

万用表是电子基础测量中应用最广泛的仪器，小小一块万用表，从最简单的测量电池电压，到复杂精密的航空航天工业，都少不了它。万用表最初提供电压、电流、电阻3个项目的测量，这3个项目也是基础电路中最基本的参数，广泛应用在测量、维修、基准等领域。万用表自从发明以来，也与时俱进，功能和结构方面都在不断增强。在功能方面，现在很多万用表增加了二极管、三极管放大倍数、电容、电感、频率、温度等扩展测量功能。在结构方面，从传统的指针表发展到目前主流的数字表，指针表的电路中普遍加强了对万用表自身电路的保护措施，以有效地防止误操作而损坏万用表，改进型的指针万用表引入场效应管FET电路，提高了万用表的输入阻抗和灵敏度，数字万用表随着集成电路和A/D转换器的发展，产品分辨率和自动化程度不断提升，中档以上数字万用表都具备四位半以上分辨率和自动量程功能，数字表的交流测量从普通的平均值测量，发展到目前中档以上万用表普遍使用的真有效值测量。虽然市场上的高档万用表价格可达三五千元，但更多的是50元左右的实用型产品，也有十几元的低端产品。那么，我们应该选用怎样的万用表呢？

指针表VS数字表

指针表和数字表是万用表两种主要的形式，两者各自有自己的优势。指针表历史悠久，传统性强，很多早期的电子电工教材都以指针表作为范例，教授万用表的使用方法。传统指针表在测量电压和电流时不需要使用电池（场效应管放大电路型指针万用表除外），表内的电池是供测量电阻之用。在数字万用表技术不断发展和价格不断下跌的形势下，指针表目前保留的主要优点体现在对于一些晃动变化的电压和电流的测量。由于机械指针表头偏转天生的惰性，让指针式的万用表看上去比较符合测试者通常的视觉习惯，不像数字表那样总给人数字乱跳的感觉。此外，在测量一些具有高频干扰分量的信号（电机电压、无线电发射机相关电路）时，低端数字表比较容易受到干扰而造成测量失真，指针表由于电子电路少，所以不易受干扰。

相对而言，数字万用表优点就比较多了，首先是数字万用表的数字直读特性



上海电表四厂生产的MF35指针式万用表

快捷、准确，避免了指针表头的读出误差，也不再需要像指针表那样寻找对应的刻度线，对于有自动量程功能的数字万用表，甚至连量程都不必过于关心，只要选对测试项目即可。即便是在现在很多人眼里看不起的3½位数字表做得好的话，其测量准确度也将高于高档指针表。其次，数字万用表电压挡内阻高，测量时接入电路影响小，测得的数值更接近实际情况。再次，数字万用表可以测量正/负电压、电流，内部保护功能也比较强。这样，即使用户反接了表棒，照样可以测量，数字表的屏幕上会出现一个负号，要是指针表就会出现错误性反偏了。数字表在很多错误选择量程的情况下，保护电路会起作用，不容易损坏表内电路，而指针表就直接打表满偏。另外，很多数字万用表都有较强的扩展测量功能，如三极管放大倍数、二极管测量、电容、温度等，可实现一机多能。

从价格方面来看，目前指针表与数字表价格相当，高档一点的指针表MF10/12/14价格都不便宜，近200元，最高档的直流1.0级精度的MF35表的价格更高达近600元。这样的价格都能买到很不错的数字万用表了，诸如优利德UT60系列和UT70C。在50元价格档次上，MF47型万用表是比较有代表性的实用型指针万用表产品，同价位数字万用表也有优利德和胜利等名牌入门级产品，诸如UT33系列、VC9205。虽然数字万用表需要靠电池工作，但普通表耗电很小，一套电池可以连续工作几十个小时，平均下来，使用成本微不足道。

综上所述，除了已经习惯使用指针万用表的老工程师外，笔者一般都建议使用数字万用表，因为目前来说，即使是高档指针万用表，其实用优势也已经不大。在工作室配备数字万用表，在测量准确度和功能性方面都有明显优势。

对于新手和非专业用户来说，数字万用表绝对更容易上手，更少出错，更安全。一些数字万用表采用具有高速响应的条状指示器来指示快速变化的信号，以达到类似指针表的效果。如果用户需要经常测量快速变化的电压、电流量，那么具有高速响应指示条功能的数字万用表是首选，同时一些数字表还具有最小值和最大值保持的功能，方便读取变化电压、电流量的峰值。

手持万用表VS台式万用表

数字万用表有常见的手持式万用表和台式万用表之分。有些用户认为台式万用表更为高档，放在桌子上更有面子，比较偏向选购台式表，其实手持表和台式表各有长处。

在常规测量、维修工作中，手持万用表放置灵活，使用简便，远比固定的台式表来得方便、高效。台式万用表主打的是高分辨率、高准确度、高稳定性，也被很多商家宣传为高精度，一般上点档次的台式数字万用表都提供至少5位以上的分辨率，高于大部分手持式万用表。有些台式万用表提供了四线制的电阻测量方式，可以更精确地测量小电阻值，这是手持万用表所不具备的。很多台式万用表通过选装各种通信接口，可以将测量数据直接传输给数据采集系统，这在系统集成和自动化测量中用得比较多。大部分比较高档的台式万用表提供至少每秒1000个读数以上的速度，一些高端产品可以达到每秒数万次读数，而大部分手持万用表每秒读数的速度在个位数。高速读数在手动测量中看不出优势，但在很多数据采集中却非常重要。

台式万用表在实际使用中的弱点是体积比手持万用表大得多，大多数都需要交流供电。因为其设计时就考虑的是固定使用，这就限制了主机的移动和携带，外出现场测量几乎没有可能，即使是体积相对较小的五位半台式万用表，也没人愿意把它装入包内带着走。从价格上看，台式万用表的价格比较高，随着分辨率的增加，价格上升很快，而且很多台式万用表的交流测试项目属于选件，不包括在基础报价之中。

从功能上讲，台式万用表针对性强，扩展测量功能少，一般台式表都不会有手持表常有的一系列通断测试、电容、温度、三极管等扩展测量功能。作为台式表强项的高分辨率读数并不是在所有测量中都有重要的意义，例如，检测一个设备的电源单元，输入端为220V市电，输出端为经过稳压的直流12V和5V，用最普通的三位半万用表测得数据为222V、12.21V、5.05V，完全可以满足判断电路工作是否正常的需要。如果你用一个五位半的表测得222.22V、12.2082V、5.0501V，这些更高分辨率的读数并没有什么实际意义，反而增加了测量成本。用

Fluke 8808A

高分辨率的台式万用表进行简单电路的测量简直就是高射炮打蚊子。当然，如果你打算做一个电压基准源，并测量其稳定程度，那么高分辨率的万用表就派上用场了。不过万用表自身也需要经过计量，并在计量有效期内保证精度。

高分辨率、高位数的万用表并不代表高准确度，万用表也需要定期校准，台式表和手持表都一样。因此，台式万用表并不适合用于普通的现场测量和维修级测量以及工程测量，一般适合配置在实验室作为精密测量科研之用，或者用于系统集成，成为数据采集前端。也有的用户将高位数的台式万用表用于与其他手持万用表进行数值参照比对，这也是可行的。

作为小型电子工作室，如果没有高精度测量的项目，诸如调测基准类设备和校准电压源以及高速数据采集，那么完全没有必要花大价钱去购买高位数的台式万用表，除非为了装点门面。一般性能较好的四位半手持万用表在常规基础测量中已经相当好用了，花费三五百元就能买到国货名牌产品，也完全可以通过国家计量院计量。

品牌与品质

说起代表性的万用表，大家都会首先想起国际大品牌的顶级产品，如Fluke 287/289和Agilent U1252A，这些产品都提供了业界无与伦比的性能。Fluke在手持万用表界一直是老大，近年来推出了287和289两款新品，替代了原来高端产品线

Fluke 287高端数字万用表

上雄踞多年的187和189。Fluke 289重新定义了新一代高端万用表的功能，首次将1/4 VGA点阵屏用于手持万用表，其趋势捕获功能在万用表屏幕上直接以图形化方式显示出记录数据的曲线。Fluke也全面更新的中档产品线，为不同类型的工作应用优化设计的Fluke 11x系列的实用型万用表，在性能和价格方面达到较好的平衡。如果说287和289是高级工程师和研发人员身份的标志，那么11X系列就是一线技工的最爱。Fluke也没有放弃低端市场和教育市场，推出经济实惠的12B/15B和12E型产品，提供最基本的功能和可信赖的性能。

国际高端仪器“大鳄”Agilent一直以来以HP的高精度、高位数台式表闻名于世，其8位半的3458A多少年来一直是市场上精度最高的万用表之一。六位半的34401A是很多实验室首选的台式万用表，几乎成为行业标准。近年来，Agilent也开始大举进军手持万用表界，先后两轮推出了多款高端和中档手持万用表。

一款优秀的万用表不但有高超的测量性能，还需要具备很好的安全性能和可靠性。很多用户在对比万用表时，只注重万用表的测量性能和功能，而忽视了其他性能。万用表的测量性能也不仅仅是从显示屏上可以看到显示读数位数的多少，还包括万用表的直流测量精度、读数速度、抗杂讯干扰能力、交流测量频率范围、通信功能、记录功能等。同样是四位半显示的万用表，由于其他参数不同，档次和价格可以相差很远。高档的手持数字万用表直流精度可以做到小于0.03%，而普通产品多在0.5%左右。附加功能多并不一定决定万用表档次的高低。熟话说“术业有专攻”，高端的万用表并不十分注重扩展测量功能，如电容/电感测量、频率测量、三极管放大系数等。通常的专业高端产品，要做就将主要的电压、电流、电阻基本功能做到最好，做不到最好的附加功能还不如不做。

万用表的安全性主要是指，在万用表遇到误操作，被输入超范围的高电压和大电流时，万用表的抗毁性能，以及使用错误挡位时的输入保护功能以及表壳的绝缘阻燃特性。这些安全特性虽然与测量结果的精准性没有直接关系，但与产品的耐用性和操作者的人身安全密切相关。

提高万用表的安全性往往需要增加很多成本，而带来的好处很少会被注意到，所以对于中小品牌产品，大多不太愿意在这方面投入过多，而大品牌产品即便在其低端产品中也会恪守安全第一的原则。

万用表的可靠性，包括产品平均无故障工作时间，对恶劣环境的适应能力，测量精度的保持等。高品质的万用表选用优质元器件和可靠的焊接工艺，在易磨损的接口和拨盘触点都做了结构增强和表面抗氧化处理，确保历经长时间、高强度使用后触点接触依然良好。表壳采用高绝缘性抗冲击材料，在设计上，有的产品还采用双绝缘设计和一定的密封设计，使得万用表在跌落、震动、尘埃、水泼溅、高低温变化等一系列恶劣条件下，依然能稳定工作，减少对机件的影响。这也就是一些高端万用表出厂后经过连续多年使用，依然性能不减当年的内在因素。

万用表的领导品牌也往往是新功能、新特性的引领者，Fluke和Agilent的万用表会不时出现一些创新的功能，如在万用表测量电路中增加可选的LPF低通滤波器功能，这样可以有效抑制测量的中高频信号可能产生的干扰。又如低电阻电压测量功能，这对一些电池和电源的测量有特别的意义，低电阻测量电压相当于带负载测量电压，可以避免电池空载时电压偏高的情况，也可以反映出电池内阻情况。

国外名牌高端万用表虽然性能卓越，是业内人所共求的珍品，但数千元的高价往往令刚起步的小公司实验室和个人用户敬而远之。因此，很多中小实验室只能退而求其次，把目光投向这些品牌的中档产品。这些品牌的中档万用表也是笔者

比较推荐的，它们在性能和价格之间有着较好的平衡点。

作为国际名牌的中档产品，虽然不具有高端产品引人注目的骄人指标，但可以提供实实在在的测量性能，贴近实际工作的需要。很多国际一线品牌的中档甚至低端万用表，虽然在附加测试功能和显示位数上比不上同价位国内一线品牌的产品，但在产品的安全性和可靠性方面依然传承品牌的优良传统。与很多国内小厂的产品理念正好相反，国际品牌万用表设计时都将产品的安全性和可靠性优先于测量性能。国际大牌的中档万用表价格对于很多公司的小型工作室实验室还是可以承受的，而且使用高端品牌仪器，有时在无形中会增加客户对测试结果的信任度，提高公司的形象，对于个人用户来说，一定程度上也可以成为专业形象的反映。

特种万用表

示波万用表是近年来崭露头角的一类新型万用表，其特点是将传统数字万用表与初级数字示波器结合在一起。万用表的示波器功能主要针对交流信号测量，增加了波形显示功能，对于直流信号测量作用不大。一般中低档的示波表与传统示波器相比，有体积小的优点，但缺点也容易比较明显，在测量频率带宽、波形显示、测量项目上都还有一段距离。高端的示波表，如Fluke 199C，虽然性能可以与示波器媲美，但超过两万元的价格令人乍舌，如果用户有这些预算，完全可以买到很好的进口示波器了。其实，高端的示波表是划入手持示波器的行列，测量电压反而成为其中一个附加功能。此外，示波表在体积和耗电方面也有一定问题。很多用户用万用表就是测量电压、电流的，需要看交流信号波形，会使用示波器，所以对于电子工作室，一般建议万用表和示波器按需分开配置，尤其现在国产入门级液晶示波器的价格已经很低廉了。

笔式万用表的优点是轻巧，便于携带，最适用于现场快速测量。笔式万用表的主机通常就是一个表棒，所以现场测量时不必再担心为万用表主机找个稳当的摆放位置，这在一些爬高测量和狭小空间测量时有一定的优势。笔式万用表的缺点是测量精度不高，扩展测量功能少，很多笔式表都只支持电压和电阻的测量，不支持电流测量。笔式万用表为超便携设计，电池容量小，所以不适合长时间开机测量。

总的来说，笔式万用表不适合作为电子工作室主力用表，与传统手持表相比，也不够气派，不过对于预算有富裕的工作室，可以作为第二万用表或者外出超便携万用表备用。笔者个人认为，笔式万用表使用起来，测量性能对于现场电压检测和家电维修的要求是绰绰有余。

钳表是一类特殊的万用表，它通过特有的感应线圈，可以非接触测量经过导线的交流电电流（不能测量直流电电流），测量的交流电流为安培级水平（不适合小电流的精密测量）多用于供电工程中特定场合，专业性比较强。虽然很多钳表产品也提供与传统万用表一样的表笔测量交直流电压和电阻的功能，但一般习惯上很少有人会去用这些功能。此外，有的手持万用表也有电流钳选件，使得普通手持万用表也具备钳表的功能。不过大部分电流钳价格昂贵，不比钳表便宜多少。

小型工作室万用表选购要点

选购原则：够用＋好用＋有限的预算。

指针万用表市场上，德国GMC指针表的性能很好，只是价格很高。日本进口万用表以SANWA（三和）为代表，做工细致，性能也不错，不过仿冒产品很多，SANWA（三和）产品型号较多，价格从一百多到八九百都有，总体价格比国货贵上一两倍。其中，200元左右的SANWA YX360TRF性价比较高，是喜欢使用进口仪器朋友的佳选。300元档次的SANWA SP-21/20，传统式样，性能和做工俱佳。如果有四五百元预算，那么SANWA CX506a的性能更好。

国内厂家也推出了相当多的指针万用表精品，性能绝对不输于国外产品。上海第四电表厂的星牌万用表在国内业界有口皆碑。星牌的MF35、MF10、MF12、MF14都是非常具有特色的高端产品，不过在数字表面前，它们的高精度设计黯然失色，而且体积偏大、偏重，目前看来比较适合收藏。尤其是一些老年分的表，内部使用大量线绕电阻，技艺精湛，代表一个时代电子工业的最高水平。MF500型表曾经是国内实验室、维修站用得最多的指针表，大表盘是其特点，但其双拨盘设计是很多年轻人都不习惯的，而且体积也偏大，因此现在并不推荐。从实用的角度，笔者比较推荐MF47和MF30型指针表，它们体积适中，价格也相对比较便宜，市场上50元左右就能买到性能不错的产品。

需要注意的是，国内万用表很多型号是全国统一的，同一型号有很多生产厂家。后期，有一些著名型号被多次改进，所以有的型号，甚至同一个厂，都会推出多种档次的版本（MF47就是一个典型的例子），其价格和品质也有明显的差异。如上面提到的MF30表，上海第四电表厂的星牌价格在70元以上，其他厂家，如华夏、精益等的产品，价格在40～50元。MF47型万用表的价格和种类更多，其中南京电表厂、金川、天宇、科华出品的该系列产品口碑较好。

指针万用表指标上以精度高、灵敏

SANWA指针式万用表

度高为佳，实际应用中若有大表盘和指针线性好更为实用。一般工艺较好的指针表会在表头使用一条镜面，以减少读数误差。如果你需要高精度测量，现在就别指望指针表了，首选应该是高位数的数字台式表和高端的手持数字表。

手持数字万用表是目前应用的主力，产品档次一般可以笼统地说：十几元的能用，50元的管用，200元的好用。500元的属于很好的表，几千元的万用表对于普通电子工作室的维修级测量实用性不大。进口品牌方面，Fluke和Agilent是最著名的品牌，Fluke的产品在国内中高端应用中的占有量具有绝对优势。对于中小实验室，如果设备预算比较宽松的话，一般推荐Fluke的中档手持万用表11x系列，有114 电气测量万用表、为现场维护技术人员设计的115C、具备温度和微安测量功能的 Fluke 116C HVAC、具备非接触式电压测量功能的电工用 Fluke 117C 万用表。这些Fluke万用表的价格都近1000元，但绝对物有所值。

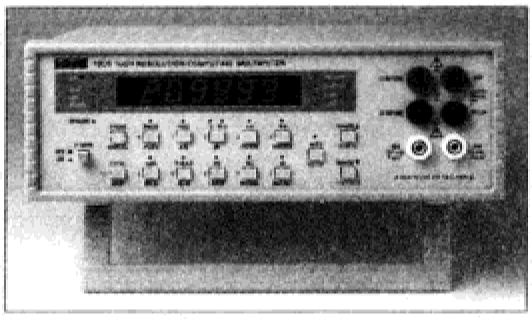
如果仪器预算不多，国产手持数字万用表是不错的选择，华谊、优利德、胜利是国内万用表一线品牌，他们的中高档产品品质在国货中相当不错。在200元左右的万用表中，优利德的UT61系列、华谊的MS8260G/MS8226T、胜利的VC98x系列属于在实验室比较实用的系列。普通个人电子爱好者选用三五十元的数字表更为经济，平时测个电压、修个电器、量个电阻也完全够用。华谊的MS8233B、优利德的UT33系列、胜利的VC830L都是不错的选择。

横向比较数字万用表时，不用死扣指标。一般常规维修级测量，对万用表的准确度要求很低，即使十几元的表也能使用，而且有些国内二线、三线品牌的万用表指标水份较多。选购中低档数字万用表时，应根据实际应用的需要，选择适用特性的产品。如果测各种交流信号较多的应用，可以选具有真有效值测量、True-RMS测量功能的表，需要测量工作点变化趋势的应用，选择具有通信功能、可与计算机联机记录的表，眼神不太好的用户可选择大液晶屏、大字体的表，最好具有背光功能的，追求简单的用户选择自动量程的表，手头缺少仪器的电子爱好者选择扩展测量功能较多的表，以期一表多能。

虽然手动量程选择的万用表挡位多看上去较复杂，显得高档，其实自动量程的万用表自动化程度高，操作也简便。对于常规测量和维修用的数字万用表，不用过分追求高显示位数和高准确度，原则上，即便是 3½ 位的表也完全够用。对于需要长时间工作的万用表，建议选用 5 号电池供电并支持充电电池的产品，使用充电电池可以避免频繁购买电池的问题，并进一步降低用电成本。

台式万用表适用于实验室级的高精度测量，业界主流进口品牌有Agilent、KEITHLEY、Thurlby、Fluke，国内实验室用得较多的有Agilent 34401A（6½位）（新款为34410A）、高性能的34411A（6½位）和34420A（7½位）、Fluke 8845A/8846A（6½位）、Fluke 8808A（5½位）。这类高精度仪器主要用于精密测量，对仪器的自身要求很高，指标来不得半点马虎。不是说能显示6½位的表

Fluke 117万用表

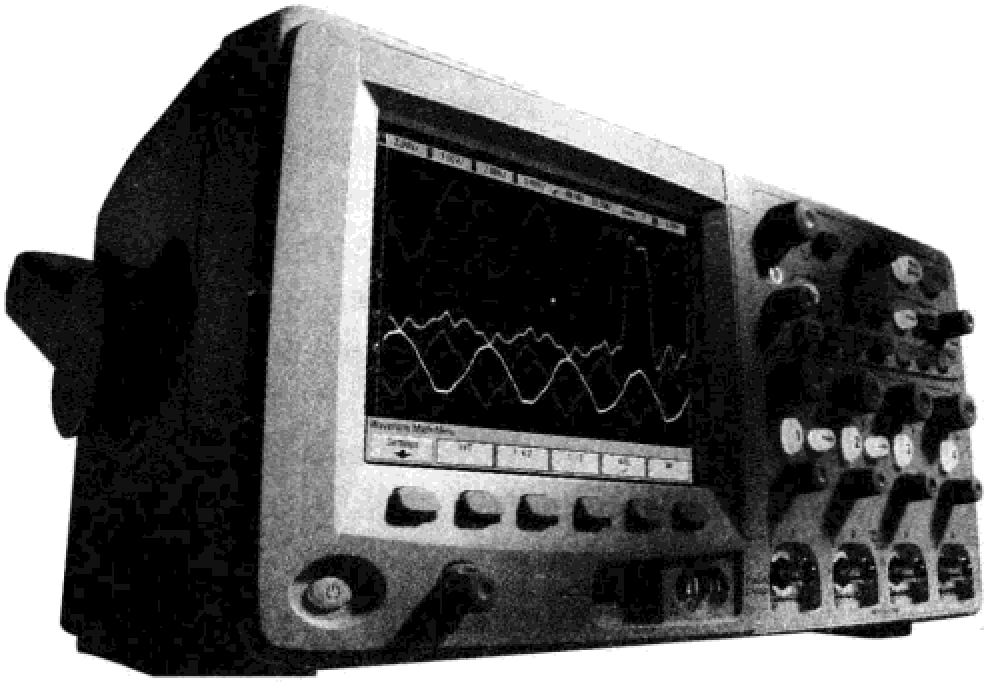


thurlby台式万用表

的测量准确度和稳定度都是一样的，买小品牌的便宜产品总有点不放心。有的国产高精度台表的内部线路设计和做工与进口名牌产品存在明显差距，所以，有的小实验室，在资金不足的情况下，宁可买二手货也要进口名牌的。

手持万用表作为价格不高的仪器，一般不推荐选购二手表，全新的表性能有保障，还有保修等售后服务，使用起来既安心又放心。有些二手表，尤其是指针表，经过修理，没有校准，只是看上去能用而已，已经不能保证精度。高位数的台式表价格比较高，对于有精密测量需求而预算不够的小工作室选购二手表可以节省很多资金。以实验室选用得较多的Agilent 34401A为例，新品的价格在8000元左右，而二手产品价格在3500元左右。

选购二手表，一看外观成色，二看内部电路板，无维修、无进水或者原厂封条完好，三看实测性能。简单测试，可以用电压表功能测量标准电压参考源或者与同类型保证精度的表做比对。当然，购买高精度表后，进行专业的校准或通过国家计量院计量是最放心的。购买二手表建议购买主流型号的产品，这样在日后的维修和校准方面都会比较方便。二手仪表渠道也很重要，很多科研单位退下来的仪器经过校准还是非常不错的，远比一些洋垃圾里拼装出来的仪器可靠得多，二手仪器不要追求最低价，购买专业二手仪器商提供售后服务的仪器在性能和品质上更有保障。专业的二手仪器商会选择仪器的来源，并且对仪器进行初步的检测和校准，有的还能代办计量证书。



小型电子工作室仪器选购

◎杨法（BD4AAF）

选对示波器

示波器在电子工作室中是普及程度仅次于万用表的仪器，配置了示波器，会使你的电子工作室测量能力提高到一个新的层次。通过示波器，我们可以更全面地测量和观察各种信号。对于商业性的电子工作室或实验室，配置一台像样的示波器会让懂行的客户对你们的技术实力产生良好的第一印象。

示波器的价格比普通万用表贵得多。过去，高档主流示波器基本靠进口，高端的示波器价格更是达到上万元，所以很多小型电子工作室配置示波器时经常遇到预算的压力，因此只能考虑二手产品。随着国内电子仪器企业的崛起，国内很多民营厂家生产的低端液晶数字示波器已经达到一定水平，甚至一些同档次的国际著名品牌的示波器也为此被迫降价，参与竞争，使得入门级示波器门槛降低，同时用户可以选择更多品牌和产品。而入门级示波器正是小公司和个人小型电子工作室最需要的产品，原来很多朋友只够买二手示波器的预算，现在完全有机会购买国产新品了。现在的国产示波器一改以前呆板笨重的形象，像欧美洋货一样美观轻巧，而且全中文化操作界面给人全新的感受，可见国产仪器也在与时俱进。

按需配置示波器

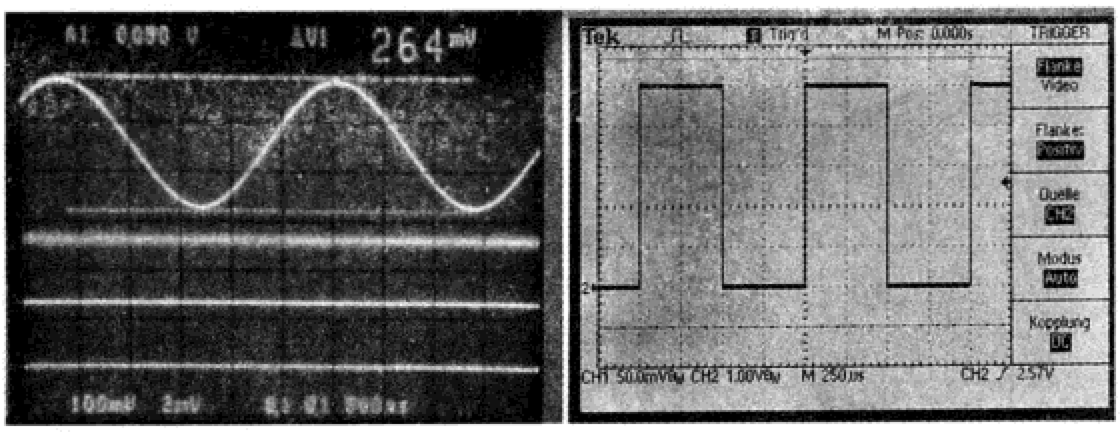
示波器不是万能的，在购买示波器前应该确认你是否用得到它，除非只是买来充场面之用。从功能上来讲，示波器与上期介绍的万用表各有测量的侧重点和自身特点。万用表侧重直流电压、频率较低的交流电压以及交直流电流的测量，而示波器侧重于交流和高频信号的波形显示，并可以进行幅度（电压）和周期（或频率）的测量。示波器时常被用来检测信号输出单元的幅度、失真、毛刺情况。

在实际应用方面，示波器在一些家电维修中可以进行如控制板晶振工作状况、数据通道数据传输情况、测试点的波形等继常规电压测量后的进阶探测。一些设计制造开关电源的实验室利用示波器可以测量开关电源直流输出中交流波纹的情况（即判断直流输出的纯净度）。一些研发和制造充电器的工作室通过示波器可以观察脉动充电时的实际波形。单片机开发工作室利用示波器可以测试单片机数据输入输出的时序、数据、逻辑等内容。电脑维修工作室利用示波器可以测量监视一些数据通道和时钟通道的数据，有利于元件级板卡维修的故障判断。一些无线通信设备研发实验室通过示波器可以监视基带、中频、射频、信号处理全过程。如果你的工作中主要需要测量直流电压，那么示波器的作用就不大了。

模拟示波器VS数字存储示波器

早期的示波器与现代主流示波器从结构到扩展功能都有了本质的变化，20世纪还是以模拟示波器为主，21世纪则是数字示波器的时代。数字示波器在工作带宽、测量功能、偶发事件捕获、记录存储方面已全面超越模拟示波器，很多4GHz以上带宽的数字示波器已经走进不少实验室，生产商家最新推出的数字示波器工作带宽已高达32GHz。

传统模拟示波器ART采用模拟电子线路，并利用特殊的CRT（阴极射线管）示波管实时显示出波形。最早的模拟示波器功能比较单一，只是用来显示波形，测量波形幅度和周期还要通过人工对照示波管上的刻度来数格子。后期的模拟示波器渐渐流行在电路中增加手动测量功能和CRT读出功能，提高了测量精度和操作的方便性。最终，随着集成电路和单片机深入应用，很多比较现代的模拟示波器都具备了自动测量和CRT读出功能，并演变成为新一代示波器的标志性功能。在模拟示波器的时代，人们投入了很多研发力量制造出



模拟示波器与数字示波器的显示界面

相当不错的产品，20世纪的高档模拟示波器的带宽已经可以做到几百兆赫的水平。理论上，模拟示波器的分辨率是无限的，也是实时显示的，这也是在某些高频率测量领域依然使用模拟示波器的主要原因。

数字存储示波器DSO是对传统示波器电路结构的颠覆性设计，它对输入模拟信号进行数字化A/D转换采样，在数据存储后将采样数据输入单片机处理器进行运算处理，最后根据计算结果重建可视波形。新型数字存储示波器在外形和特性方面较传统模拟示波器有很多明显的优势。在数字存储示波器制造过程中大量使用新型的开关电源、大规模集成电路和液晶显示屏，所以示波器的体积和重量锐减，很多主流便携产品大小和重量与一台手提录放机差不多，放在工作台上占地不到标准模拟示波器的三分之一。测试仪器体积的减小可以大大节省桌面空间，留出更多的自由操作空间，这对一些空间紧张的小型工作室有特殊的意义。

数字存储示波器的总体体积减小，但波形显示窗口并不随之缩小，现代主流数字存储示波器普遍采用5～10英寸彩色液晶屏，液晶屏替代CRT管在体积、功耗、重量上都有无可比拟的优势。

现代数字存储示波器虽然设计更为先进、复杂，但操作起来却更为简单。很多传统模拟示波器使用的机械开关需要一系列的设置才能看到稳定的波形，常常可以看到一些新手操作，调着调着连基准零位线都看不到了。数字存储示波器广泛采用电子开关，在使用寿命和操作舒适度上都有了很大改善。最重要的是，现代数字存储示波器几乎都有自动设置AUTO-SET功能，只要按下一个键，示波器就会自动进行一系列的参数调整，几秒钟内清晰稳定的波形就能呈现在用户面前，用户可以以此为基础，方便地进行微调，大大提高了操作效率。

现代数字存储示波器大多有自动测量功能，在显示波形的同时可以自动显示信号特征参数（包括频率/周期、幅度、平均值、上升时间等信息）。数字存储示波器用来显示频率很低的信号时，有与生俱来的优势。数字示波器显示的波形是由处理器产生的数位图像，所以清晰稳定，而模拟示波器的波形显示是通过电子束轰击CRT屏幕荧光材料后产生的，在测量很低频率的时候，模拟示波器会因为电子束扫描过慢，余辉保持时间短，而影响整体显示效果，数字示波器则完全没有这个问题。对波形画面的保存和截取更是数字存储示波器的强项，数字示波器可以直接数字化地保存显示画面，甚至可以方便地存放到现在流行的U盘里。

数字存储示波器也有一些不足的地方，尤其是早期产品，但随着科技的发展，诸多不足之处已渐渐被弥补。早期的数字存储示波器由于数模转换芯片速度低且成本高，所以存在采样率过低的问题，容易出现信号细节显示的遗漏，对一些偶发的脉冲干扰和波形上的毛刺不能很好地捕捉，所以在数字示波器上市之初，很多人依然喜欢使用模拟示波器。

按照香农采样定理（也被称为奈奎斯特采样定理），“为了不失真地恢复模拟信号，采样频率应不小于模拟信号频谱中最高频率的2倍。”这就要求数字示波器必须要有较高的采样率作为波形精确显示的后盾。随着科技的发展，A/D转换芯片的速度迅速提升，价格也下降很快，现在很多入门级的100MHz示波器都具有1GSa/s的采样率，远远高于需要的理论值，对信号波形的再现达到一定的水平。

早期的数字存储示波器使用的处理器速度有限，有时处理复杂的信号连续性不太好，现代处理器在性能上已有很大提高，数字示波器显示的速度与模拟示波器差距已是微乎其微，很多数字示波器都具有几乎实时显示的性能。随着数字采样问题的解决和数据处理能力的提升，数字示波器的工作带宽迅速提升，很快就超过了模拟示波器的顶级产品。

由此看来，传统模拟示波器残存的优势已经越来越少，除了价格优势外，在性能上已经没有什么明显的优势了，国际示波器生产大厂也早就停止了模拟示波器的研发和生产，所以现在采购示波器，数字示波器是必然的选择。

数字示波器家族新成员

数字荧光示波器DPO是由著名示波

数字荧光示波器DPO

器生产厂家TEKTRONIX（泰克）推出的新一代数字示波器，核心是DPX并行成像处理系统。它兼具数字存储示波器和模拟示波器的一些优点，大幅提升了波形捕获速度，增加了发现罕见问题的几率，提供创新的三维数据显示方式，可以显示畸变信号出现的频度，并且可以像模拟示波器那样有层次地显示调幅信号。数字荧光示波器为我们提供了更精密的信号监测和更高效的偶发瞬态事件的捕获能力，可以让我们洞悉容易被忽略的信号细节。

混合信号示波器MSO是在数字示波器基础上整合了逻辑分析功能的示波器，在一台仪器上同时观察数字信号和模拟信号，这对研究一些有关联的数字和模拟信号非常有帮助。

以上两种新型示波器目前主要应用于高端场合，对一些复杂信号进行测量，售价也很高，大多数产品都要数万美元，不是目前一般小型工作室所能承受的，在此就不展开介绍了。

度身选择工作室示波器

工作室配置示波器首先要明确用来做什么工作，测量的要求是什么。配置示波器可以从以下几个方面来确定所需示波器的基本特性：

带宽

这是示波器设计测量的最高频率。按照业内的标准，示波器的带宽是指电路上前端模拟放大器的带宽，一般为-3dB频率截止点，即随着输入信号频率的上升，放大电路输出电压降为输入电压70.7%时的频率点。这个电压下降过程是一个非线性的过程，而且不同品牌和型号的示波器，由于设计余量不同，特性也不尽相同。不过有一点是可以肯定的，不要打算用100MHz带宽的示波器去测量八九十兆赫兹信号的幅度，那一定是明显偏小的。

一般按照经验，如果用户要用示波器比较准确地测量信号的幅度，那么至少示波器标称带宽要比测量信号频率高出三分之一。当信号频率接近示波器带宽时，所测量的波形并不会有明显的变化，所以只要求大致看看波形的用户，对示波器实际带宽的要求可以低一些。随着示波器带宽的提升，配置的时基速度也会提高，当时基速度不够时，会出现波形无法充分展开的问题，这也是一些用户超频使用示波器测量遇到的问题。对示波器带宽的要求主要取决于用户测量信号的类型和频率。

通道数量

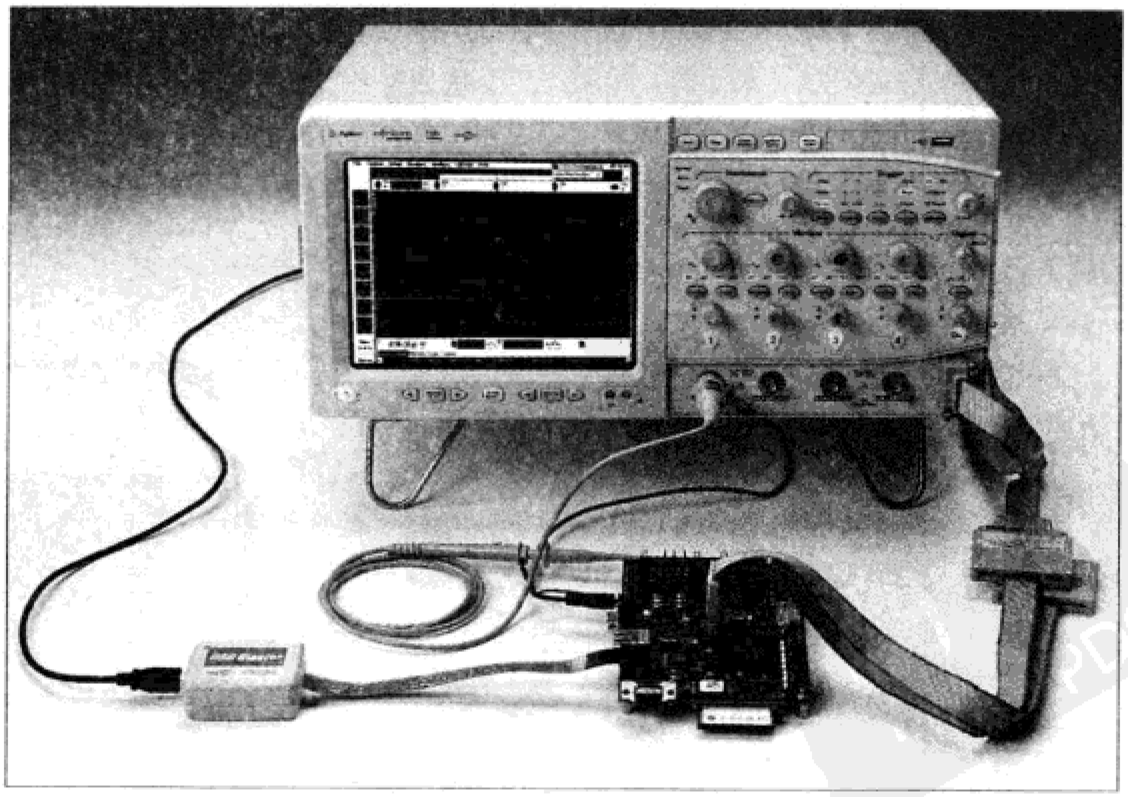
常见的示波器为双通道，即可以同时相对独立测量两个信号，有的示波器提供4个通道。独立四通道的示波器比较贵，甚至有的超过两台双通道机器的价格。独立四通道的优势是可以在一个屏幕上同时显示四路信号的波形，并可以进行运算，这是两台双通道示波器无法做到的。需要注意的是，有不少示波器在使用多通道时会出现测量性能下降。例如，有的示波器采用第二通道时，分配到每个通道的采样率和存储深度会减半，真正独立通道的示波器每个通道的性能都是不变的，而且都拥有独立的时基。对示波器通道的要求主要看用户实际测量的需要，大多数简单应用只需要使用一个通道。

采样率

采样率是数字示波器特有的指标。对于简单信号处理，一般要求采样率为示波器带宽的2.5倍，对于复杂信号处理，最好达到示波器带宽的5～10倍。对于现在主流示波器，大部分100MHz带宽的产品都提供1GSa/s的采样率，为带宽的10倍完全够用了。早期有部分机型采样率相对比较低，选购时需要注意区别，如一些便宜的100MHz机型，采样率多是500MSa/s的。

存储深度

这也是数字存储示波器特有的参数，即采样存储容量的大小，关系到连续记录的最长时间。如果你的应用偏重数据采集和回放分析，那就选大存储深度的机型。目前主流国产示波器中，有的型号已经可以提供2M和1M的存储深度。



混合信号示波器MSO

显示屏

虽然示波器采用单色液晶屏也基本够用，但彩色液晶屏色彩更加丰富，对于在多通道的测量中区分通道波形有一定优势。目前主流示波器常采用5.7英寸的QVGA彩色液晶屏，分辨率为320×240。分辨率高、面积大的显示屏有利于细节的显示，也方便显示更多的内容。我们也发现有的示波器虽然采用大面积屏幕，也是高分辨率屏，但波形显示的分辨率依然是过去QVGA水平，只是动态放大了，这样做实用意义就不大了。国产下一代示波器已开始纷纷采用7英寸液晶屏，LCD分辨率有480×234或800×480之分。

通信接口

通信接口可以将示波器与电脑连接起来，利用电脑软件扩展示波器的功能，也可以利用电脑进行记录存储。现在大多国产示波器都可以通过USB口与电脑连接。

品牌

品牌是产品质量和售后的保证，一个优秀的品牌是厂家辛勤耕耘并被用户广泛认可的结晶。

建议普通工作室配置一台100MHz数字存储示波器。目前这一级别的产品价格已经多次下跌，价格最低的产品在1500元左右，2000元不到就能买到主流性能的产品。100MHz带宽、双通道、1GSa/s取样频率、彩色液晶屏是目前主流入门级示波器的典型标志。

国际著名品牌VS国产品牌

泰克（Tektronix）和安捷伦（Agilent）以及力科（LeCroy）是示波器界三大顶级品牌，也是创导示波器尖端技术的先锋，都能提供顶尖性能的划时代产品。近年来，德国著名射频仪器生产厂家罗德与施瓦茨（rohde&schwarz）也进军示波器行业，推出了多款高性能产品。

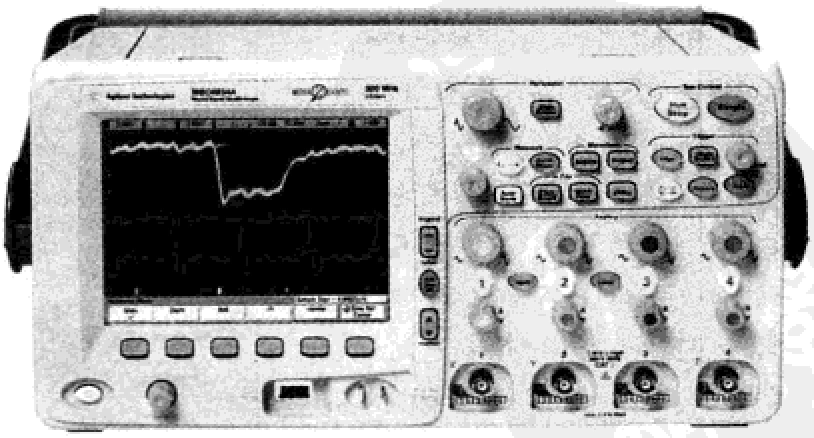
在高档和中档示波器中，顶级品牌的产品目前还有着国货无可比拟的技术优势。一般小型工作室是无缘天价的高端示波器，也不需要进行复杂信号的精确测量。这些顶级品牌也注意到了入门级用户的广阔市场，适时推出了多款低端型号的示波器。这些低端产品的优势集中在秉承了顶级品牌产品的优良做工和基础测量的精准性上，指标标注严谨，电路设计余量大，稳定性好。有些标称100MHz带宽的国际品牌示波器，实际性能接近一些标称200MHz带宽的国货示波器。

国外著名品牌的低端示波器，即使是由国内OEM厂家提供代工生产，其质量品质控制也是按原厂企业标准执行，产品的电路设计和软件核心都由原厂掌控，这与国内简单的贴牌销售有本质的区别。名牌产品有着优质优价的良性循环，不必为拼价格而死抠硬件成本，以牺牲产品品质作为妥协，国际名牌示波器也很少会在电路板上有意打磨掉芯片型号，更不会将芯片超频使用。由此，即使由同一家OEM厂家生产的不同品牌示波器，性能上也会有一些差异。国内有些产品的线路设计不错，只是由于节省了屏蔽成本，致使机内自扰比较大，在使用小电压挡位测量时会有所感觉，一定程度上也影响了测量的稳定性。

目前市场上国外著名品牌的入门级示波器，虽然几度降价,但价格上依然比较高。以低端市场典型的100MHz示波器为例，即使是便宜的泰克TDS1012C-SC，依然至少在6500元左右，而国货同级别产品有的价格不到2000元，即使国产口碑最好的DS1102E，价格也不到3000元。

国货示波器有实力与国外品牌一搏高下的主要集中在200MHz以下的入门级产品，国货的优势集中在价格和功能以及硬件配置上。国货示波器的价格不到同级别国外名牌产品的二分之一，有的中小品牌产品甚至只有三分之一左右。25MHz带宽级别的产品，国内品牌大多在千元出头的水平，甚至还没有一块进口中高档万用

泰克入门级示波器TDS1012B



Agilent入门级示波器MSO6034A

表贵。如果你有5000元的预算，可能还不够购买国外名牌100MHz示波器，但如果考虑国货的话，已经有诸多200MHz档次的示波器供选择了。

国货主流示波器在配置上无一例外的采用彩色液晶屏，在新一轮的升级中不少产品将5.7英寸液晶提升到7英寸宽屏。在采样率方面，100MHz带宽的示波器基本都提升到1GSa/s水平。在存储深度方面，国产示波器优势明显全面超过同级别的国外品牌，一些国产示波器提供1M甚至2M的存储深度。这一点倒不是国际品牌厂家在技术上不行，主要是厂家有意限制产品的性能，以区分不同档次产品。低端产品在实际测量方面，国产示波器与国际名牌产品差距已经不大，尤其是在常规简单信号上，实用性很好，所以国产名牌示波器性价比要远高于国外名牌，更适合预算不多的小型工作室和私人用户。

如果你打算购买中高档示波器，并对测量的精准性有较高的要求，那么进口名牌示波器在性能上更有保证，是你不二的选择。如果你打算购买入门级产品，而且预算不多，那么国货名牌也是不错的选择。

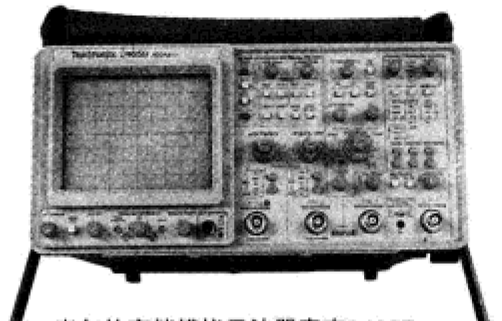
虚拟示波器VS实体示波器

市场上有一类虚拟示波器，所谓虚拟是指这类产品没有自己的显示屏，硬件上只有信号采集前端和部分信号处理系统，利用电脑的处理器和显示屏进行进一步的数据处理和最终波形显示。虚拟示波器由于节省了后期处理和显示硬件，所以成本大为降低，软件扩展功能比较多，很多产品还集成了逻辑分析功能，缺点是必须配合电脑使用，整体操作也通过电脑界面完成，对于很多用惯了实体示波器的朋友一下子不习惯。笔者认为，作为小型工作室，尽管现在电脑普及率很高，但示波器还是传统实体示波器使用比较方便，而且现在很多低价位的虚拟示波器在性能方面（包括采样率、存储深度等）还达不到主流实体示波器的水平。

二手示波器的选购

鉴于很多小型工作室购置示波器的预算在2000～5000元，以此预算下购买300MHz以上的全新主流数字存储示波器不太可能。如果你的应用需要更高带宽的示波器，那么只能选择二手产品。300MHz以上的数字示波器目前还算是高档货，二手市场上好的货源不多。二手市场上性能比较好的高带宽数字示波器，如HP 54522A(500MHz、2CH、2GSa/s)，也要超过4500元。很多早期产品存在采样频率偏低的问题，所以建议选购型号比较新的模拟示波器比较划算。比较典型的产品有350MHz的泰克2465A和400MHz的泰克2465B，这类示波器虽然是模拟示波器，但型号在模拟示波器中比较新，也是当年的高档机，已经具备现代示波器的很多实用功能，如CRT数据显示、自动测量、自动测试功能，常规应用不比现在主流数字示波器差多少。可能由于科研单位升级数字示波器的缘故，二手市场上泰克2465B数量渐渐多起来，价格只在2200元左右的水平，对于需要测量高频率信号的用户来说绝对超值。

选购二手示波器，首先要对产品的型号和标配特性有所了解，对于二手商临时推荐的型号要做客观的了解。在二手商那里同样被称为500MHz的HP54522A、HP54520A、HP54503A示波器，实际性能相差很大。二手示波器中，美系品牌泰克、惠普/安捷伦以及力科是国际公认的一线三大品牌，产品不但性能优良，而且制造用料上乘，产品经久耐用，口碑甚好。很多20世纪80年代的泰克和惠普示波器至今仍在正常工作，也是我们在二手市场最容易看到的进口示波器品牌。泰克示波器市场占有量大，国内第三方维修和拆机配件都比较多。泰克和惠普示波器操控界面设计理念不同，喜欢哪个品牌仅凭个人偏好。日本品牌的示波器中，岩崎的



当年的高档模拟示波器泰克2465B

模拟示波器、横河的数字示波器在国际上也颇有名气，适合小型工作室的中档性能产品比较多，价格相对更为实惠。

其次，要有好的货源.一些从研究所、大学实验室退役的仪器要比洋垃圾里来的仪器可靠得多，专业的二手仪器商家对仪器的质量把关也会更好些。

再次，高频率的示波器探头价格很高，二手货也不便宜，在购买仪器时要问清是否提供探头以及探头是否原装产品。

最后，二手仪器的验机是很关键的一步，尤其是对那些没有保修的二手货。试机时最好使用对应频率等级的信号发生器，波形的清晰度和测量信号幅度的正确性是最基本的。如果是CRT显像管的示波器，还要注意显像管显示的聚焦状况和波形字符的亮度。高档示波器大多具有自检功能，通过自检可以大致保证机件运转没有明显故障。试机时不要着急，开机时间尽量长一点，机器应该工作稳定，没有异常发热。有可能的话，最好打开机盖，看看示波器的主板和连接件有没有腐蚀和老化以及明显的维修痕迹。打开机盖后，顺便可以做一下清洁除尘工作，这对提高机器的散热都是有好处的。一般高档仪器有原厂封条，可以体现出机器有没有被第三方拆修过。还要提醒一下大家，国产示波器近几年来也经过几次性能升级，很多厂家的产品升级后，型号上只是改了一个后缀字母，主体型号都没有变动，市场上老款的库存继续在销售，对此不熟悉的消费者很容易混淆。大家在比较产品价格和购买时，要认清完整的型号，并核对随机说明书中的技术指标。

认识示波器探头

◎聆听

示波器探头是示波器的必备附件，探头是示波器输入端的延伸，与被测电路直接接触，探头的性能直接影响着示波器波形的显示和幅度测量的准确性。不同类型的探头具有不同的特性，适应不同的测量项目。市场上，一支廉价的100MHz探头只要几十元，而高带宽的高端探头，尤其是有源探头和电流探头，价格就很高，有的探头的价格远比一台100MHz数字示波器还高。有时测试中发现的扰动是来自探头，并非真正来自被测电路，仪器配置的问题往往会影响工程师做出正确的判断。对于可靠的示波器测量，一副好的探头是最基本的保障。

探头实例

示波器的探头多种多样，以下我们以使用率最高的1:10无源电压探头为例介绍一下常用探头的组成。

图1是一副Agilent 10074C 150MHz无源电压探头，它由前端探棒（笔）、中部传输电缆和后部连接匹配器组成。

探棒前端可以加载弹簧钩附件（见图2），用以勾住被测线缆或元器件引脚。

在探头附件中，除了弹簧钩，通常还有多种颜色的附加色环，用于区分探头对应通道，就像万用表通过红、黑表棒区分正、负一样，这在使用多个探头的多路示波器中十分有用。探棒上有个额外的地线引线，并连接有鳄鱼夹，用于探头就近接地，提高屏蔽效果，减少信号被干扰的可能。有的探棒上有一个衰减量开关，可以选择1:1和1:10两种模式。对于10074C这类固定衰减量的探头则没有这样的机构。常规的探针外形大同小异，对于在精密场合使用（如测量大规模集成电路引脚信号）的探针，有各种特殊设计的专用型号探头。

探棒的传输电缆为带屏蔽层的同轴电缆，确保信号在传输中不受干扰。传输电缆的长度通常在1.5～2m。正规的探头在后端连接匹配单元上会标明品牌型号和探头的基本参数，如输入电阻、输入电容、安全电压等信息。常用的探头一般都采用BNC接口作为连接器，有的产品在连接器上会多出一个触点，如图3所示，这是用于传输探头特性的编码信息，以便示波器自动设置衰减量。

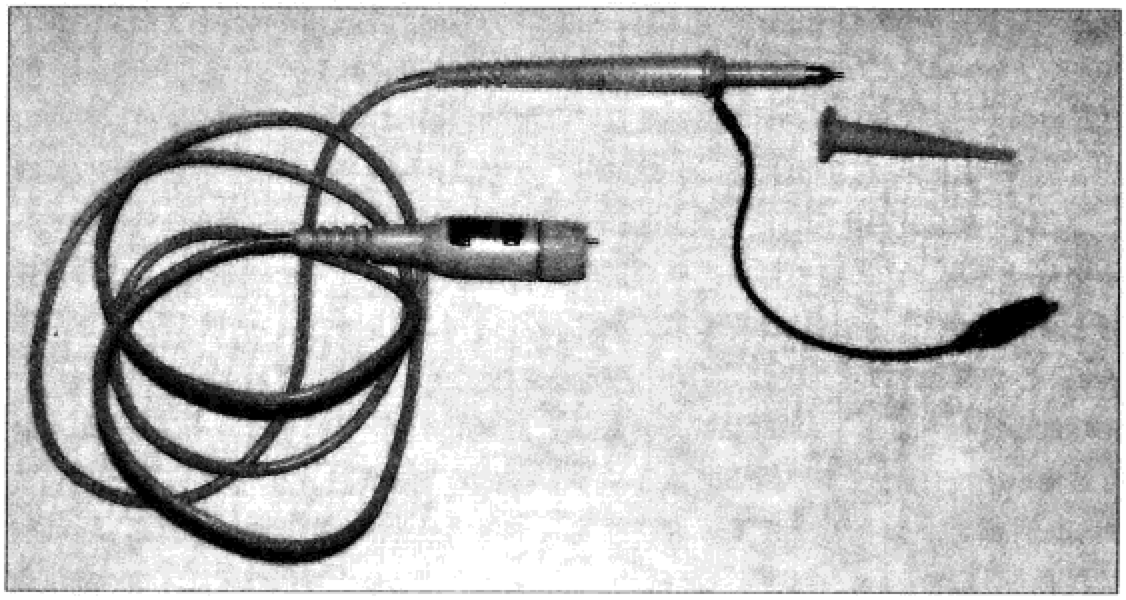


图1 Agilent 10074C150MHz无源电压探头

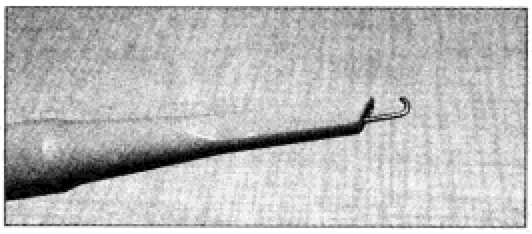


图2 示波器探头的弹簧钩附件

有些有源探头触点比较多，用于传输一些其他的信号。连接匹配单元上通常都有一个小孔，见图4，里面对应有一个可调电容，用于探头调节匹配，随机一般都会提供一个无感的调试棒。通过调节补偿电容，可以使探头与示波器达到最佳的匹配，确保信号传输时波形失真降到最低。

常规无源电压探头的校准

常用的无源电压探头都有一个补偿调节电容，以适合不同的示波器，在初次测量前必须进行校准，否则将严重影响波形的显示。

第一步，开启示波器，并让示波器

热机一段时间。有的数字示波器在热机后期需要执行自校准程序。

第二步，将探头安装上示波器，并连接示波器上的测试校准信号点，调节适当的时基和电压幅度，使示波器显示出稳定的方波波形，一般一屏显示两个周期的方波信号为好。对于比较现代一点的数字示波器，可以按下自动设置键，让示波器自动选择适合的挡位。

第三步，用无感调节器转动探头根部的补偿电容，使示波器显示出理想的方波。图片中依次是探头欠补偿（见图5）、过补偿（见图6）、正常补偿时（见图7）的波形显示。

对于固定搭配的机器探头，一次校准好后不必每次使用都进行重复校准。

示波器探头的带宽

探头与示波器一样都具有带宽限制，带宽也是评价探头性能的首要指标。探头的带宽源于探头的输入电容，带宽越宽，输入电容越小。一副100MHz的无源探头的输入电容在18pF左右，一副500MHz的无源探头的输入电容在10pF左右，一副超过1.5GHz的有源探头的输入电容不足1pF。探头的输入电容会与示波器的输入电容相加，等效增加了示波器测量系统的输入电容，直接影响了信号上升时间和带宽。同样一台100MHz的示波器，为它分别配上一副100MHz和一副500MHz带宽的探头，分别构成测试系统，其实际工作带宽是有一定差异的。带宽不足会使测量信号的幅度偏小，增加测试的误差。搭配示波器探头时，至少要选择与示波器带宽相当的探头，若有条件使用更高带宽的探头更好（只是带宽越宽的探头，价格也越高）。由于探头在实际制作过程中牵涉到材料结构的分布电容问题，所以探头的输入电容不能无限减小，无源探头做到500MHz带宽已经相当不易了。要进一步提升带宽，减小输入电容，就需另辟蹊径，采用电阻分压法或者采用有源结构。

探头的输入电阻与负载效应

正规的探头与示波器一样，都会标注输入电阻。示波器测量会给被测电路带来额外的负载，它所导致的影响称为负载效应。电路会将测试仪器作为负载处理，如果仪器阻抗偏低，给被测电路增加的负载较大，轻则会使信号测量数值偏小，严重的则会影响被测电路的正常工作。在并联型的测试中，并入的测试仪器阻抗越高，对被测电路的影响越小。

一般示波器端口的阻抗为1MΩ，通过安装一套1:10的常规无源电压探头，就能获得10MΩ的输入阻抗。高输入阻抗可以减小示波器探头的负载效应，减小对被测电路的影响，并提高信号幅度测量的准确度。对于测量一些幅度很小的信号，衰减型探头就不适用了，有时不得不使用1:1的探头，这时，负载效应就会比较明显。

形形色色的示波器探头

示波器的探头多种多样，各有特点。根据探头的器件和结构，可以分为无源探头和有源探头；根据探头的测量类型，可以分为电压探头和电流探头。

无源电压探头是示波器日常使用得最多的探头类型，所谓无源探头，即探头内部电路不需要电源供给。通常，无源电压探头内部是由电阻和电容元件构成。无源电压探头内部线路非常简单，就是由几个电容、电阻和同轴传输电缆构成，其中一个可变电容是用来校准补偿探头的。无源探头的带宽一般可以做到最高600MHz的水平，随着贴片元件和多层线路板应用的普及，现在很多小厂都能轻松地低成本制造150MHz带宽的无源电压探头，但超过300MHz带宽的高品质无源电压探头的制造技术和成本依然比较高。这类传统结构的无源电压探头使用方便，经久耐用，校准简单，同时具有宽动态范围（支持大

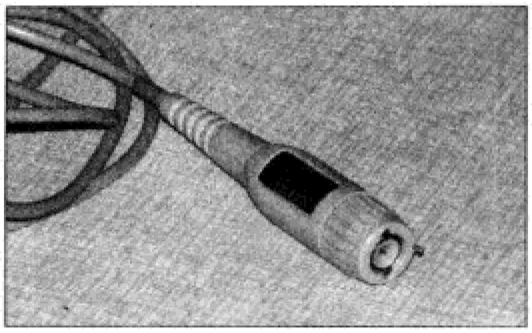


图3 示波器探头的连接匹配单元

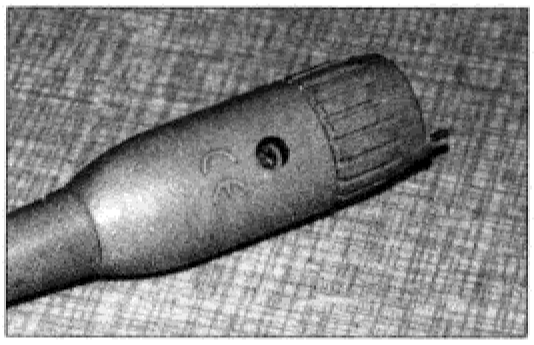


图4 补偿电容调节孔

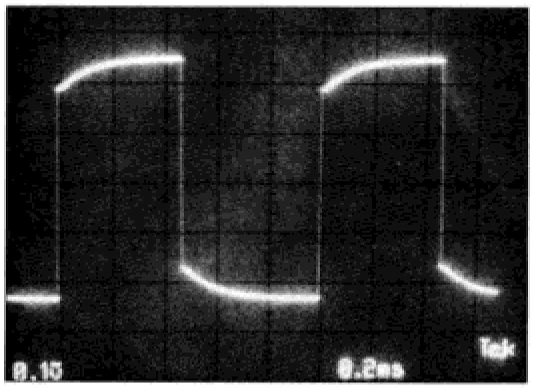


图5 探头欠补偿图像

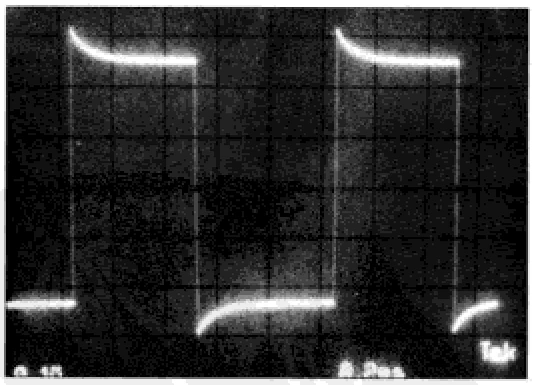


图6 探头过补偿图像

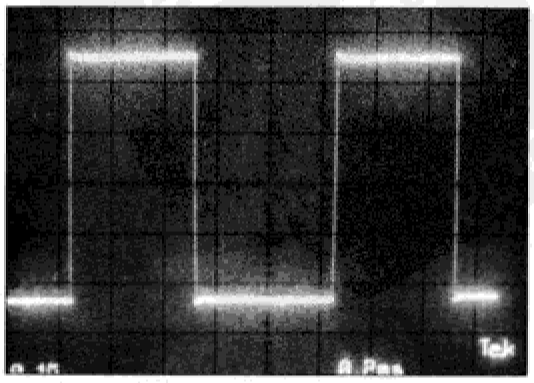


图7 探头正常补偿图像

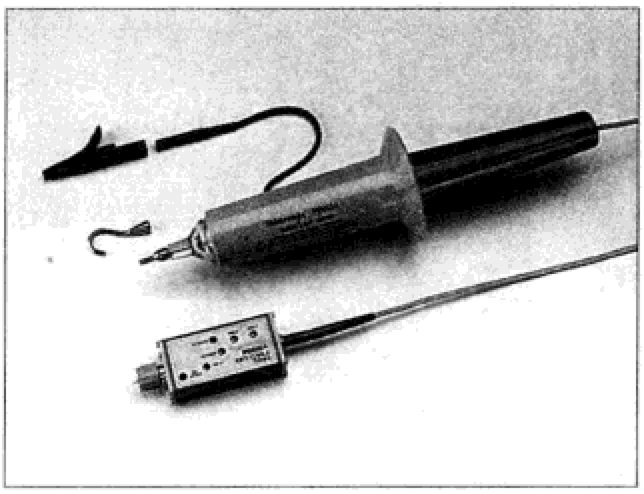


图8 泰克高压探头

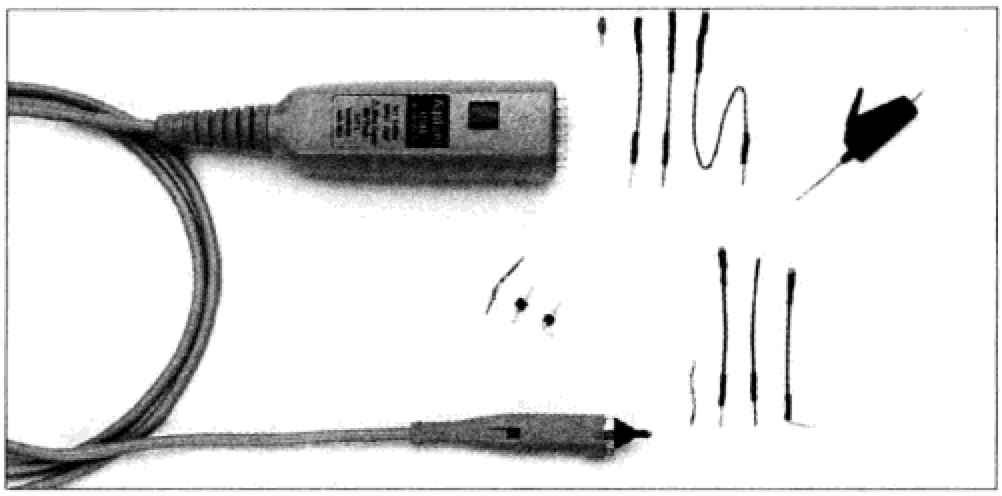


图9 安捷伦1158A4G带宽有源电压探头

电压范围的输入）和高输入阻抗（非1:1型探头），广泛应用在频率不很高的简单波形测量、TV、中低速数字信号等领域。超过80%的基础测量都使用无源电压探头，无源电压探头结构简单，造价相对低廉，所以入门级示波器标配的探头通常都是这类探头。

无源电压探头对信号没有放大作用，只有衰减能力。常见的1:10的探头即将信号衰减到1/10。对常规电压幅度的信号进行衰减主要是为了获得较高的输入阻抗和较宽的频率响应，市场上常见的无源电压探头有1:1/1:10切换型探头和1:10固定型探头。切换型探头具备两种衰减量，可选应用范围比较广，适合初级应用。切换型探头在不同衰减挡上的带宽是不一样的，通常只有在1:10的挡位上才能达到探头标称的最大带宽，在1:1的挡位上只能达到6MHz左右的带宽水平。固定型探头性能容易保证，比较适合专业场合使用。

此外，还有用于高压测量的探头，一般示波器输入端可以耐受300~400V(不同的机型耐压值不同，在示波器输入口有警告标志)峰值电压，所以一般测试比较高的电压需要使用高压探头，见图8。

高压探头的衰减量比较大，常见的有1:100和1:1000，除了衰减量大外，探头手柄都经过高绝缘性设计，以保证操作人员和仪器设备的安全，例如，常见的1:100高压探头基本都具有耐压2000V的水平。

电阻分压式探头是一种比较特殊的无源探头，通过电阻分压器使探头具有低容性负载和高带宽（可以做到1GHz以上）特性，可以用来测量高带宽信号，比使用有源探头的价格便宜得多，但其缺点是电阻分压式探头输入阻抗很低，负载效应比较明显。

有源电压探头内部有FET场效应管电路，需要额外的电力供应。有源电压探头凭借FET场效应管的特性，输入电容很低，探头带宽容易做得高，一般有源探头可以做到4GHz左右。

同时，由于输入电容小，所以在很高频率的电路测试中保持较高的输入阻抗，有利于高带宽时的精确测量。有源电压探头的缺点主要是价格昂贵，一套名牌高带宽有源电压探头的价格完全可以买几台国货 100MHz 数字示波器了（图 9 中的 Agilent1158A 有源电压探头的公开参考报价超过 6000 美元）。另外，有源电压探头的输入动态范围小，输入电压过高极易损坏探头电路。

差分探头是一种具有正、负两个输入的有源电压探头。图10示出了安捷伦1159A差分有源电压探头。

前面提到的无源、有源电压探头都属于单端探头，是测量信号对“地”参考电压，而差分探头是测量两路信号的相对电压差，比较多地用在DRAM、AGP、蜂窝电话设备、磁盘信号等高端专业场合。差分探头的优势是可以观察存在直流偏置或者其他共模信号时的小信号，具有很高的CMRR（共模抑制比），缺点是价格昂贵，操作也不太方便。

电流探头是一种测量电流波形的探头，它通过检测电流，并将其转换成示波器可以显示的电压信号。电流探头又分为无源的交流电流探头和有源的交流/直流电流探头。交流电流探头通过一个互感器工作，交流/直流电流探头通过霍尔器件来检测直流和低频交流。很多现代交流探头都采用类似钳表的设计，用户测量时不需断开电路。电流探头广泛应用在工业、汽车和电流领域。

此外，还有逻辑探头、光电探头、温度探头等专用探头，在此就不再详述。

一副好的探头

理想的探头应该包括良好的电气性能和可靠的物理性能，这也是50元杂牌探头和500元名牌探头的差异。

电气性能应主要包括系统带宽和上升时间，以及输入电阻、输入电容。对于商品级的探头，其带宽等级指标是由厂家标定的，用户除了选择不同档次的产品外，并无多大选择的余地。输入阻抗对于常用的1:10的无源电压探头来说，基本都是10MΩ（特殊形式探头除外），也没有更多的比较余地。输入电容不同，厂家产

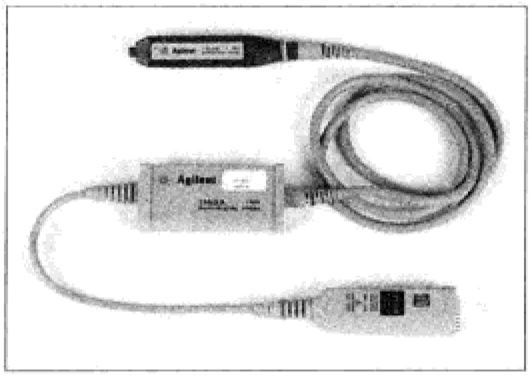


图10 安捷伦1159A差分有源电压探头

品的数据就不同，一般选择输入电容小的产品为好。

实践是检验产品性能的金标准。我们可以利用一台可信的信号源（性能好的名牌信号源）作为参考仪器，然后让探头配合示波器工作，在不同频段进行测试。测量结果中，波形畸变最小、抗干扰强、幅度测量衰减小的探头就是电气性能好的探头。探头除了电气性能外，物理性能也很重要，这关系到产品的耐用程度和使用舒适度。探头要有合理的外形设计，便于把持和测量，优质的手柄材料可以为使用者提供舒适的握感。高品质的部件可以确保探头坚固耐用，不少高品质的探头在探针和BNC芯线上镀有一定厚度的黄金，以确保不易被氧化，而一些廉价货则采用廉价的发黄技术，仅仅为了看去像镀金而已。高品质的探头使用高性能电缆，不但在传输高频率信号时衰减小，而且线体柔软，手感好，抗拉性好，并在易磨损部位预先做了加强设计。

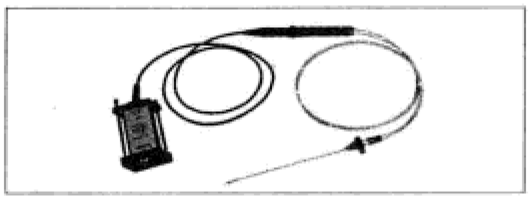
如果你的示波器支持探头自动识别功能，那么搭配具有对应编码特性的探头就能简化操作。具有编码功能的探头在BNC连接器上会多出一个小凸出触点，以传递编码信息。

探头对示波器正确测量至关重要，选用适合的探头和正确的操作，可以确保测量的正确性。名牌高品质的探头不但可以保证标称性能的真实性，而且优良设计和扎实的制作工艺可以确保探头的高寿命和易用性，在实际测试工作中达到事半功倍的效果。

力科发布适合高/低温环境的示波器探头附件

美国力科公司发布可工作在高、低温环境下的示波器探头附件，成为业界第一家提供在高、低温环境下仍可使用示波器进行测量的厂商。通常，示波器和探头的工作温度范围是5~40℃，而力科公司提供的解决方案可以使用户在-40~+105℃的温度范围内对被测体进行测量。

新的高/低温探头附件是力科差分探头D620/D610和D320/D310的一个选件，它由90cm长的耐高低温电缆和可工作在高低温环境下的焊接前端组成。



泰克推出全新的高性能开放式示波器平台

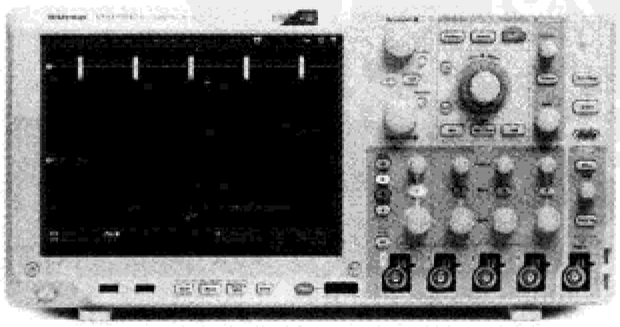
泰克公司推出了全新的混合信号示波器平台——MSO/DPO5000系列，同时还推出了有超强性能的TPP1000和TPP0500高带宽、低电容无源电压探头。这些新示波器和探头共同为工程师提供了功能更强大的分析工具。

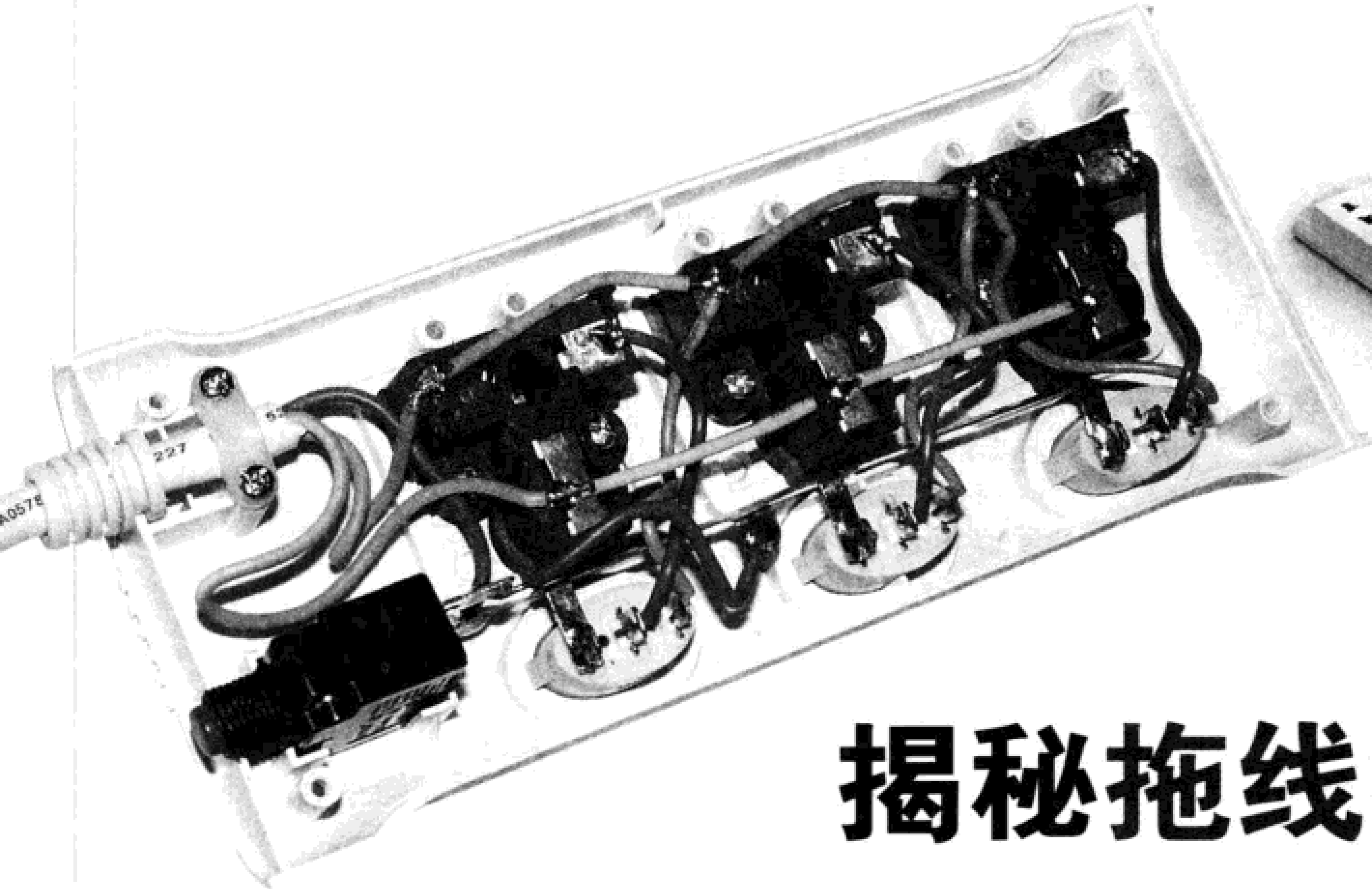
全新MSO/DPO5000系列数字和混合信号示波器的功能特点包括：最大波形捕获率大于250 000wfm/s的FastAcq功能（用来发现瞬间信号），最高250MB的记录长度和FastFrame™分段存储采集技术，大量内建工具用于深入分析复杂信号，基于Windows的用户界面，能轻松联网，操作直观。

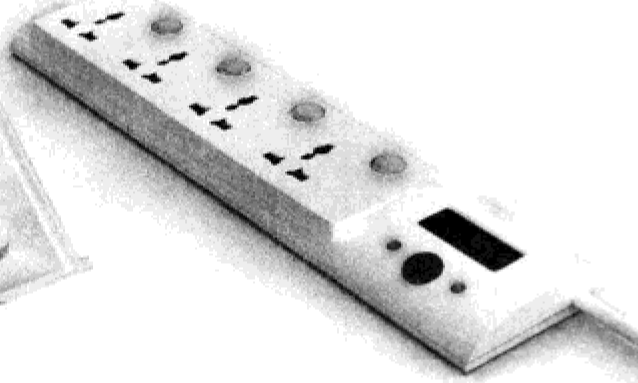
该系列示波器共有8个型号，范围从350MHz模拟带宽和5GS/s采样率到针对高端应用的2GHz带宽和10GS/s采样率。记录长度范围从12.5M直到用于深入分析和调试的250M。每个型号都有4个模拟通道，MSO机型还提供16个数字通道和内建并行总线触发与解码功能。

另外，MSO/DPO5000系列带有对自动触发和解码I²C、SPI、RS-232和USB2.0串行总线信号的可选支持。抖动和眼图分析、极限和模板测试、串行一致性测试、功率测量和DDR内存的可选分析支持等功能使工程师能够以一台仪器满足广泛的应用要求。手提式包装使其可以在任何合适的地方使用，而且5个机架单元的高度还使它成为用于自动化测试设备（ATE）环境的理想工具。

TPP1000和TPP0500无源电压探头的优点：高输入动态范围、健壮的机械设计和低成本，与有源探头的类似性能。这些高阻抗（10MΩ输入阻抗）无源电压探头尖端处的电容负荷只有3.9pF，可限制其对电路的影响，这是无源探头技术方面的一项重大突破。TPP1000无源探头还提供1GHz带宽。迄今为止，高阻抗无源探头提供的最大带宽是500MHz。凭借双倍带宽和一半电容负荷的优势，TPP系列探头可提供更精确的信号捕获。







◎聆听

揭秘拖线板插座

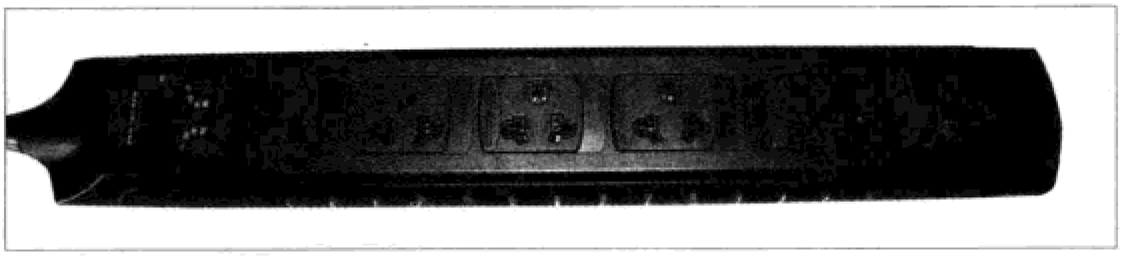
拖线板插座是现代家庭必备的用具。当家里墙面上固定电源插座数量不够用了，或者电器自带电源线长度不够了，自然都会想起使用拖线板插座。随着家用电器、通信器材、电脑以及相关设备数量的迅猛增长，拖线板插座已经成为现代化生活中必不可少的配件。

传统上，拖线板插座有扩展插座数量和延长电器电源线长度的双重功能。随着电器时代的飞速发展，新一代的拖线板插座被赋予更多的功能和特性。同时，随着人们用电量的提升和用电安全意识的提高，人们对拖线板插座提出了更高的要求。一些十几年前设计的老式简易拖线板插座已经不能满足新时代用电的需要，其安全隐患日益突出。市场上各种拖线板插座鱼龙混杂，很多产品在小电流工作时显示不出区别，如果用于电磁炉等大功率负载，性能的好坏就立即显现出来。

高档的拖线板插座零售价可超百元，是否物有所值？多功能拖线板插座有什么实用意义？优质拖线板插座的关键所在是什么？带着这些问题，我们来揭开拖线板插座的秘密。

优质拖线板插座解析

安全和耐用是拖线板插座最基本的要求。现代拖线板插座都需要是三线制结构，符合单相三线制供电的要求。三线制拖线板插座比早期的两线制产品有很多优点。第一，多了接地线，如遇上电器漏电，有效的接地有很好的二次防护作用，可以有效保障人身安全，过去一些采用地线接零（线）的做法是不安全的。第二，国标三眼插头的插入方向具有唯一性，这样在一个规范的供电系统中保证了正确的火线（相线）、零线（中线）线序的传递，确保用电设备接线正确，开关和熔断器都连接在火线上。现在越来越多的电器内部都使用到开关电源，很多结构的开关电源对火线/零线的输入以及接地都有严格的要求，否则容易出现机壳带电麻手的问题。



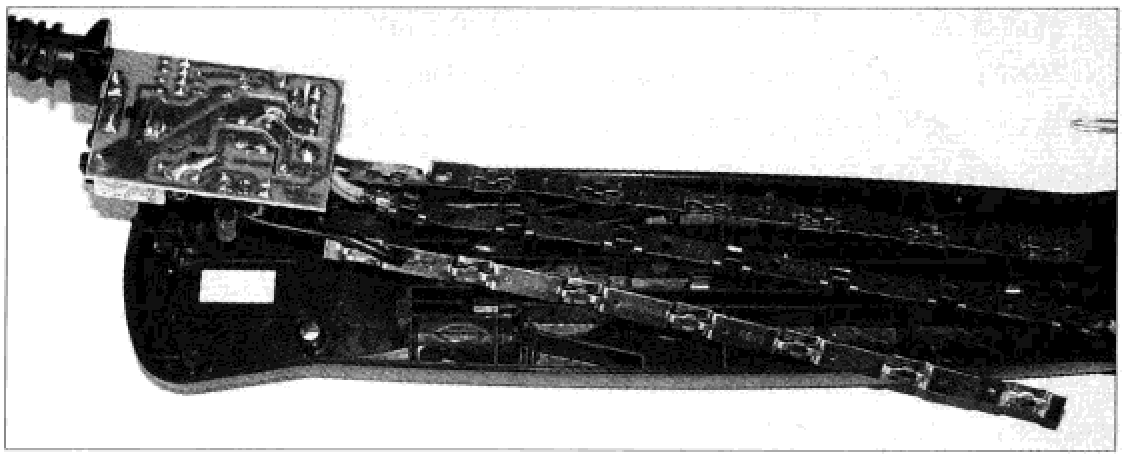
采用ABS树脂材料的拖线板插座

拖线板插座从结构上可以分为插座板、电源线、插头三大部分。

插座板是拖线板插座的主体，外壳材料的特性、内部走线的设计和用材、插座接触件的性能都关系到拖线板插座的整体品质和安全性。

从功能方面来看，插座板外壳要求阻燃、绝缘、耐热、抗冲击和跌落，同时也要有比较好的外观设计，方便拖线板插座的放置和悬挂。

目前，ABS 树脂和 PC 聚碳酸酯作为拖线板插座的外壳材料被广泛使用，这类材料有天然绝佳的绝缘特性，并且有较好的抗冲击和跌落的性能。过去有很多人认为金属外壳的拖线板插座坚固、耐用，是品质的象征，但目前家用拖线板插座不推荐采用金属外壳，因为金属外壳本身导电，更容易出现意外，反而是一些劣质的三无



拖线板的内部走线

拖线板使用铝合金作为外壳。在结构强度上，现在优质的 PC 材料的抗冲击和跌落性能要优于普通铝合金材料。拖线板插座外壳的阻燃耐热特性关系到用电安全，如果使用不当，插座板是最容易产生高温，引发燃烧的部分，使用阻燃材料可以在意外发生时延缓或者阻止火情的蔓延。

在实际电路中，好一点的拖线板插座都配备不同形式的过流保险装置，在过流状态，及时切断供电回路。

拖线板插座内部走线设计也可以体现出产品的设计定位。拖线板插座基本原理很简单，就是一些插座的并联。传统上，并联所需的连接通路有两种方式：一种是通过电线依次焊接，一种是利用铜条整体冲压成型。当然，性能是后者好，不过成本也比较高。在原材料铜大幅度涨价的时代，很多厂家的中低档产品纷纷改用前一种工艺。此外，导线与插座内部焊接方式也有不同，高档产品多会使用点焊工艺或者铆接手段，普通产品大多选择更为廉价的烙铁焊锡焊接工艺。前者耐高温特性好，点焊工艺中的铜线几乎能够通过融化与接触面融合在一起，而后者焊接工具成本低，靠焊料使铜线与焊接点结合。电线焊接工艺在业内也是被广泛认可和采用的，连接时采用的铜线的截面积和品质以及厂家工人的焊接水平与拖线板插座成品的性能息息相关。极少有消费者会关注产品内部工艺，而更多的是注重外观和价格。

拖线板插座中的插座部分是体现产品性能最重要的环节，也是用户在使用过程中最容易感觉到产品品质优劣的地方。插座必须提供一定的插拔力，以确保插头与插座结合可靠。由于国标三眼插头定义的样式，插头插拔结合力完全由插座内接的触簧片提供，通常这就需要用到有一定厚度的磷青铜或锡磷青铜材料。这类材料具有弹力强、抗疲劳、抗氧化性强的优点，同时其导电性好，接触电阻小，大电流状态下温升小。使用这样的材料作为插座内簧片，在夹持弹力、反复插拔的耐用性、接插件接触电阻上都有诸多好处，是目前插座簧片材料的首选。由于成本的问题，有些厂家偷工减料，减小了磷青铜簧片的厚度或者采用黄铜片或一些铁镀铜、镀镍材料来替代，造成产品的插拔耐用度大大下降。

优质的插座可以承受5000次以上的反复插拔，而很多劣质产品簧片插拔几十次就弹力不足了。接触簧片的弹力不足，用户最直观的感觉就是出现接触不良、插头松脱等问题。在接触不良现象的背后，实质上是插头与插座的接触电阻变大，这就很容易在大电流工作时造成插座内温度过高，带来安全隐患，而且高温会进一步加速铜簧片的氧化，形成恶性循环。

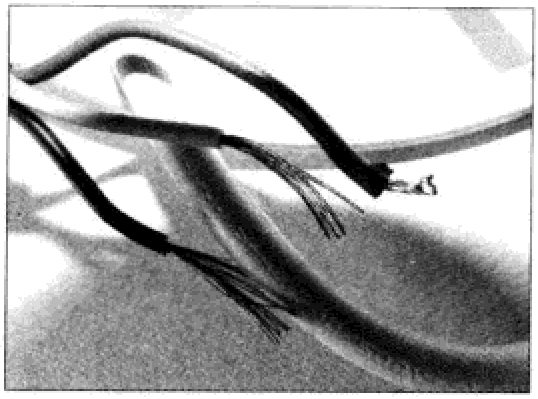
插座的基材除了绝缘，同样要求耐热和阻燃，过去理想的基材采用瓷质材料。目前，由于工艺和成本限制，瓷质材料被塑料基材所替代，但廉价的塑料基材受热容易变形甚至燃烧，高品质的基材性能则要好得多。

不同插头的规格对应有不同类型的插座，诸如国标三眼10A、国标三眼16A、美国标准、英国标准、欧洲标准等。理论上，我们都推荐插座与插头形式配套使用，这样接触件有最大的接触面积，接触电阻也降到最低。

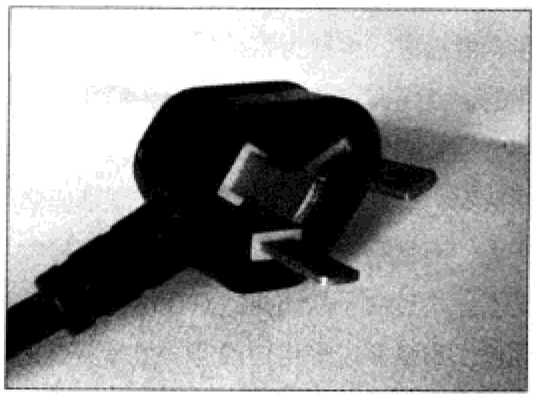
国内电器市场上，除了国标插头外，一些进口电器所用的插头标准比较多，所以在国产拖线板插座中应运而生了多功能插座，也称为万用插座。多功能插座的优点是兼容多个国家的插头标准，大部分插头都能插入，缺点是使用国标三眼插头时，簧片接触面没有专用三眼插座面积大，而且插座开口大，比较容易有异物进入。不过由于其超强的兼容性，多功能插座上市以来广受用户欢迎，很多高档拖线板插座也纷纷将它设计为主打产品。

电源线承担电流的传输，按照标准，一定截面积的导线（也就是通俗所说的多粗的线）允许安全通过多大的电流是有公式计算的。如果实际通过的电流远远超过安全标准，线体就会发热，严重的情况下，电线会像电炉丝那样发红，并产生足以引燃周边易燃物的热量。目前，国内优质的家用拖线板插座大多以最大通过10A电流（2200～2500W）来设计。综合考虑到生产成本和实际家庭用户负载状况，业内大多推荐采用截面积$0.75mm^2$的国标铜线。对于高负荷的商用和工业用拖线板插座，则推荐截面积为$1.5mm^2$和$1.0mm^2$的国标铜线。

铜线的截面积并不是决定导线承载电流大小的唯一因素，铜材料的纯度、附加工艺都对电线的性能和成本有很大的影响。由于现在原材料金属铜的价格飞涨，使得以铜为主原料的电线价格也迅速攀升。为了提供低廉的价格，市场上出现了很多偷工减料的劣质线材、非标线材，这些产品主要表现在：一是铜线直径缩水，这样可以减少铜的用量，实际上等同于导线变细了。一些厂家为了掩盖这一问题，



电源线



插头

故意将导线外绝缘皮层增厚，形成“皮厚馅薄”，从外观上看起来，线材依然粗壮，足以蒙骗非专业的普通消费者。二是采购杂质较高的铜原料，这样可以降低原料成本，但对线材的导电率会产生直接的影响。作为市电传输的导线，虽然并不需要高纯度无氧铜这么高级的线材，但对原料铜的材质还是有相当高的要求。一些劣质线材甚至采用铝包铜线来降低成本，铝的导电特性远不及铜。优质拖线板插座采用的电线标号不但要达到设计标准，而且对线材品质有讲究，名牌产品无一例外的都会向专业线材生产企业定制国标线材。有些高档拖线板插座还会采用更粗线径的线材和高等级阻燃特性的线材。

拖线板插座电源线的插头是产品的另一个制造重点。插头是拖线板与上一级电源插座连接的部件，它需要承载拖线板负载的全部电流，理论上，它是接触电阻最大的部分，也是最容易发热和出现问题的部件。目前大部分拖线板插座都采用注塑成型工艺，确保电线与插头结合紧密，并具有相当的抗拉性，防止用户私自拆卸。

高品质插头制造工艺也有很多讲究，基本的三眼国标插头的插脚金属接触片对加工精度有一定的要求，包括安装角度和间距、自身厚度和长度。材料方面，插头的塑料材质要求有一定的耐热阻燃特性，金属件要求有一定的抗形变能力和表面耐腐蚀能力。工艺方面，在插头引线部位应增加抗折护套增强设计。做到了上述这些要求，才能确保插头能稳定可靠地插入标准插座内，接触良好并具有一定的整体抗拉性。拖线板插头和墙面插座相辅相成，要做到可靠结合，需要双方都按相关国家标准进行生产。很多廉价拖线板插头在使用中出现不易插入、结合松动、接触不稳定、发热明显等问题，除了墙面插座可能的问题，更多是插头自身的问题。

拖线板插座新功能一览

1. 电源开关

在拖线板插座上设置电源开关，可以物理断开供电线路，避免每次用完电器都拔下电源插头。这一方面简化了操作，另一方面也延长了拖线板插座的插拔寿命。

为了方便用户使用，不少拖线板插座还为电源开关配备了接通指示灯，使工作状态一目了然。老式的指示灯多采用氖泡，新型指示灯多采用LED发光二极管，大大增加了其使用寿命。理论上，电源开关只要切断火线通路即可实现电源关闭，但目前国内很多房屋内部布线不够规范，墙面三眼插座的火线和零线随意排列，很容易出现火线、零线颠倒的情况，可能导致拖线板开关只切断了零线，也存在安全隐患。为此，一些国产拖线板插座的开关进行了改进，设计了双刀开关，同时切断零线和火线，不管用户火线接入是否正确，总会被切断。有的拖线板插座为每个扩展插座配备独立的电源开关，这样用户可以对每路电器做单独的控制，特别适合用于电脑、音响以及厨房小电器系统。有些家电取消了物理电源开关，设备插上电源就处于待机状态，通过拖线板插座上的开关可彻底关闭电源，不但可以节省电费，而且对延长家电的寿命和防雷击都有好处。

2. 过流保护

在拖线板插座上设置过流保护措施，可以防止拖线板总电流过流，有利于拖线板和输电线的安全以及定位故障电器，同时当拖线板负载电器出现短路时，可以及时切断供电，不至于进一步影响到家里的总电闸跳闸或电线燃烧。过去，过流保护通常采用一次性的保险丝管，虽然成本低廉，但一般家庭很少有备用品，一旦损坏，很难迅速修复，而且还存在用户替换的保险丝管参数不符合规格的隐患。现在的拖线板插座多采用可复位的过流保险器件，用户排除过流事故后，只要按一下复位按钮，就能恢复功能，简便易行。设计周全的拖线板插座会采用双保险，除了可复位过流保护器，还增加了过流、过温保险丝，提供最后的防护。

3. 过压保护

拖线板插座上设置过压保护措施可以确保用电器的输入电压控制在安全范围内，还可以有效避免由于电网异常出现电压意外升高导致电器损坏的情况。一般电路中，标配的传统熔丝盒只对过流有保护作用，对过压没有任何保护作用。通常廉价的过压保护线路是通过安装压敏电阻配合保险丝来实现的。

4. 插孔安全措施

拖线板插座插孔的安全改进主要是针对多功能插座而设计的，因为这类插座开孔比较大，容易有异物或者小孩和宠物的手放入，引起短路和触电事故。常见的保护措施是在火线和零线插孔内增加活动挡板，或者干脆在每个插座位增加手动移动的盖板。该功能对有幼儿和养宠物的家庭特别有用。

5. 滤波电路

拖线板插座中增加滤波电路可以净化市电，抑制市电在传输中夹杂的尖峰脉冲和电涌，理论上对用电器有益，也是很多电源发烧友和音频/视频发烧友推崇的。虽然市场上，带滤波功能的拖线板插座价格比较贵，但实际电子线路并不复杂。最简单的滤波电路只是在火线和零线间并联一个0.1μF左右的电容，正规的滤波线路也只不过利用两个电容和一个磁环构成π型滤波电路而已。尽管滤波功能被宣传得很神，但大众用户真正感觉到实质性效果的却很少，而且很多高档电器在内置电源设计时已经包含了同样的滤波电路。

6. 防雷电路

拖线板插座中通过增加压敏电阻和保险丝构成简易防雷电路，实质上就是过压和过流防护。高档的专业防雷插座则会用更可靠专业的防雷模块。有相当数量的雷击是通过供电线路、电话线、网络线进入室内，从而损坏家电及通信产品的。如果用户的拖线板插座有防雷功能，至少可以对家电多一道防护屏障，比较适合生活在多雷地区的用户。作为防雷电路应用的扩展，有些拖线板插座还提供了电话线、网络线和有线电视线的防雷接口，其实它们内部的基本电路都是类似的。

7. 极性和接地指示

国内很多家庭在装修时布线不规范，经常导致火线、零线错位，接地不良或接地虚设，这都会使拖线板插座的一些安全功能无法发挥正常作用，所以有一些产品在拖线板内增加了简易检测装置，确保输入火线、零线的线序正确和接地有效。很多用户不用不知道，一用吓一跳哦。

8. 工作电压指示

在拖线板插座上增加一个简易电压指针表就能时刻显示输入电压状况，虽然大部分使用的电压表精度都不高，但可以知道其大概数值，比较适合在电压不稳定的地区使用。当电器工作异常时，可以快速判断是否是电压过低引起的，比找出万用表测量方便得多。一些专业的拖线板插座上提供数字电压、电流、功率指示，适合一些高要求的专业场合，一般已经超越家用的要求。

9. 安全螺丝

有些拖线板插座上用的螺丝不是市面上普通的十字或者一字螺丝，而采用不常见的三角螺丝或者梅花螺丝，需要使用专用的螺丝刀才能拆开。这样做的用意是防止非专业用户擅自打开拖线板插座。不正确的改装或者裸露接线板内部走线会影响用电安全，甚至危及人身安全。

10. 互联网远端控制

这是一种功能比较“前卫”的拖线板插座，它可以通过网络远程监视并控制拖线板上每路插座的开闭，以达到控制电器开关的目的。如果你是数字化家庭和电脑的爱好者，或许你需要具有这种功能的插座。

11. 编程定时功能

拖线板插座上集成了一个可编程开关控制器，通过预先编程，可以设定定时开启和关闭电源输出，以达到定时开关电器的目的。例如，连接了此功能的插座，普通机械电饭煲就可以设定在你回家前一段时间通电、做饭，在你起床前一段时间开始热粥等。

老式简易拖线板插座的隐患

老式简易拖线板插座出现在20世纪，当时很多家庭拥有的电器都是以小功率产品为主。很多老式房屋的供电线路采用单相两线制，还没有专用的地线，墙面上的插座都是以只有火线和零线的两眼插座为主，所以当时的拖线板插座绝大多数都是两线制的，没有地线。即使少数产品提供一个三眼插座，内部接地线也是悬空的，只用来适应三眼插头的插入罢了，这样，遇到电器外壳带电时丝毫起不到保护的作用。国内两线制拖线板插座的插头无法区分火线和零线，插头可随意正插、反插，不能保证正确线序的传递（保持左零线、右火线），使用电器的电源开关有可能不能正确地切断火线，对于一些使用开关电源的现代电器设备，还可能造成外壳带电麻手的现象。

由于当初老式简易拖线板插座多为小功率用电器设计，所以使用的电线直径都比较细。如果长期处于高功率、大电流状态下，电线本身和接头处容易发热。此外，很多廉价塑料壳的拖线板插座外壳没有采用阻燃材料，也是安全隐患。一些超期服役的拖线板插座接头松动、电线老化、接插口严重氧化，隐患重重，电线老化短路引发的火灾向来是居民楼火警的常见原因。

进口拖线板插座解析

很多朋友都喜欢用进口电器，拖线板插座也不例外。确实，名牌洋货拖线板插座给人的第一印象是设计好、做工细、用料足。初看之下，插座内簧片的厚度、插拔力量的控制，电源线的采用规格都令人赞叹。

不过要想用上国外销售的拖线板插座还真不容易。首先，大部分国外产品都不兼容我国国标三眼插头标准，除非把家里的电器插头都换成对应外国标准的。其次，很多国外销售的产品针对当地使用110V的电压系统，内置的过压输入保护和滤波线路一插上国内220V市电系统就“炸”。国内有些商家提供改装220V服务，但不少商家为了使利润最大化，只是不负责任地剪掉会“炸”的压敏电阻和耐压不够的滤波电容，使洋货拖线板插座勉强在国内220V市电网络里能用而已。经过这样简单的修改，洋货拖线板失去了过

压保护和滤波功能，部分电子线路也工作在超压状态下，不但在功能和性能上大打折扣，而且还存在安全隐患。

所以，即便是要购买洋货拖线板插座，也一定要购买铭牌上标注了原厂就设计工作在220V系统中的产品。近年来，正规的商业渠道中出现了一些专门为中国电网设计的国际大品牌拖线板插座，如APC、贝尔金、飞利浦的产品，从耐压设计到插座接口都符合国内的规范。

很多国外产的拖线板插座，看上去用料足、电源线粗，也是有一定原因的。因为很多国外地区使用110V电压系统，相比国内的220V系统，在同样的功率下，需要的电流就要增加一倍，所以这些地区使用的拖线板插座都是大电流设计，很多国外产的拖线板插座都是按照120V/15A设计，而且设计严谨严格，按照国际电工规范，用料不分家用和商用，不偷工减料。

选购要点

作为电子爱好者，应该更容易理解拖线板插座相关优劣的电学知识，以及劣质产品潜在的隐患，选购拖线板插座时不能一味贪图便宜。

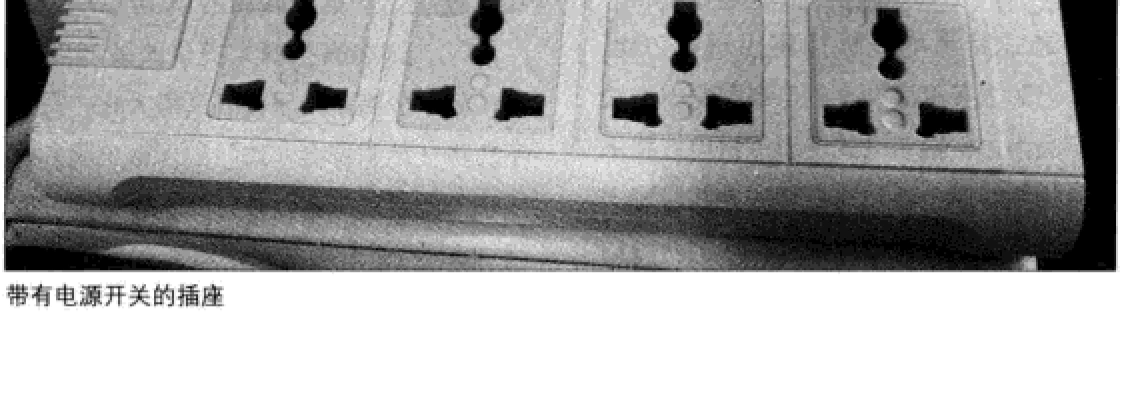
选购拖线板插座从性能上主要考虑3个方面因素：总功率、提供插座的数量、拖线的长度。这三方面不但反映出拖线板插座的基本性能，也与产品的成本和售价息息相关。

一般现在家用拖线板插座都是以最大10A电流设计的，最大功率可以承受2200~2500W，基本满足普通家电的应用。如果你需要长时间使用总功率2000W以上的电器，如大功率的空调、取暖器、热水器、电磁炉等，那么建议选购更大容量设计的拖线板插座，或者10A档次的高级产品。

实际使用中，拖线板插座是否严重过载，可以通过感觉拖线板插座温度是否变化这样的“土”办法来检测，监测点有3个部分：插头、插座、电线。在拖线板插座上全功率使用电器一段时间（建议30分钟以上或者电器实际工作最长时间），然后感觉插头、插座、电线这些部位是否有明显的发烫现象，发烫说明拖线板插座实际过载，如果是有点发“温”，则属轻微过载。

拖线板插座提供的插头数量按需选择，留有一到两个插座的余量，产品提供的插座数量直接与价格和体积有关，留有余量可方便以后扩展使用。要是拖线板再接拖线板，既不方便也不经济。

市场上拖线板提供的插座形式多种多样，主要有标准扁二眼、多用二眼、国标三眼、万用三眼、多用大小三眼。用户可以根据实际需要选择，万用/多用插座价格会高一点，但兼容性强。不过对于商用和工业用的专业级用户，单一的标准插座更为妥帖。拖线板的长度同样要根据实际需要留有余量，现在好的电线价格很高，长线的拖线板价格会比较贵。作为家庭用户，出于花费的考虑，逐步更新和采用高低搭配的方式是比较实际的应用策略。先淘汰家里最老的和明显有严重安全隐患的拖线板插座，新购的插座优先应用于大功率电器和高档电器的供电。


带有电源开关的插座

对于电子工作室或者是电子爱好者的工作台，建议购买插座数量多且带开关和过流保护的拖线板插座。目前市场上家用拖线板插座有提供6～10个插座的产品。工作台上的电器设备往往会比较多，诸如电烙铁、电灯、热风枪、实验电源、仪器仪表等都需要使用到插座。此外，很多维修和实验的电器本身也要用到插座。

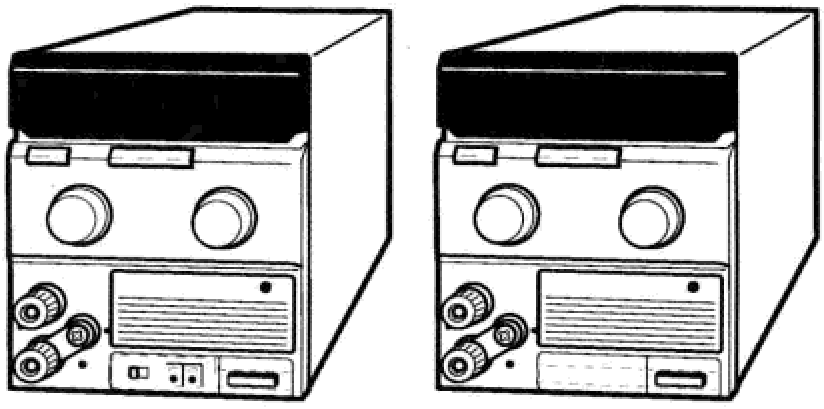
拖线板插座上的开关可以断开电源，有些电器就不必总是将插头拔上拔下的了，具备总电源开关的拖线板可以一键关断，有效防止工作台上忘记拔烙铁插头或关闭仪器设备引发的事故。有条件的建议选购每路插座有独立开关的拖线板，最好还带有对应的独立供电指示灯，以提醒关闭不用的电源通路。在维修和实验的时候，遇到意外的短路情况，带自复位过流的拖线板插座可以先于总闸动作，以免影响其他电器。

基本功能的拖线板插座充分体现了一分价钱一分货的原则，超低价位的产品大多是在有些地方偷工减料，低价常常是以降低安全性能换来的。一些产品虽然用漂亮的外壳迷惑消费者，但内部却偷工减料，普通大众用户不可能为购买一个拖线板插座而将产品完全拆开，鉴定其品质。

目前国内家用市场上，高端拖线板插座品牌有APC、飞利浦（黑色系列）、贝尔金、突破、创联，中档高性价比、实用的品牌有公牛、飞利浦（白色系列）、TCL、英特曼等。国内销售的正规优质产品都有“CCC”认证标志，三无产品的拖线板都是不可靠的。至于拖线板插座的扩展功能则不是必须的，有的附加功能，如滤波和防雷，提升了拖线板的档次价格，用户可以按需选购。

小型电子工作室仪器选购

如何配置可调直流稳压电源



◎杨法（BD4AAF）

在电子工作室配置的众多设备中，可调直流稳压电源虽然名气远没有万用表、示波器大，但在实际工作中用途广泛，可以说是科学实验、产品开发、电子产品维修、计量测试中默默无闻的英雄。电子工作室配置一台适用的可调直流稳压电源会大大提高工作效率，在很多情况下，电源的基础应用甚至比示波器更为广泛，而且现在市场上有很多高性价比的产品，在价格上很容易被使用者接受。

用途广泛

可调直流稳压电源在不同应用场合有不同的别称:维修电源、实验电源、万用电源、可调稳压源。正如它的名称所述，可调直流稳压电源的主要功能就是将交流的市电转换为直流电(大部分应用是低压直流电)，并提供恒定电压的直流电压源，而且通常输出的电压在产品设计范围内可按需调节设定。由于可调电源可以提供在设计范围内的任意电压输出，可以替代很多电子产品所用的电源适配器和电源电路，所以就有了“万用电源”的外号。在电子实验中，除了用来当不同电压的电压源外，可调直流稳压电源还常常利用其电压可调特性来测试电路输入电压的承受范围和不同工作状态下实际耗用电流的状况，也被称为实验电源。

大部分实验室和工作室所用的可调直流稳压电源都具有电压、电流指示功能，在提供可靠电源的同时还起到监视供电电流变化的作用，这比用万用表串入主供电回路测量电流的方法方便、高效得多。作为功能扩展，很多产品还提供过压保护、过流保护、短路保护、恒流源、电压参数可编程记忆等。现代很多电子产品，尤其是民用的消费类电子产品，包括手机、笔记本电脑、数码产品，都采用低压直流电驱动，而且很多故障都是由于电源适配器或者电源单元故障引起的，所以在产品开发和维修中用途广泛。

可调直流稳压电源在很多大小电子工作室是必备的仪器，很多工作室可以没有示波器，但一定要配上一台可调直流稳压电源。

◆ 对于电子产品开发，通过可调直流稳压电源的实际供电实验，可以了解实际产品供电电流的需求情况，然后确定产品供电单元的参数。利用可调电源的调压功能，还能模拟电池欠压下的工作状态，以设计产品的低压报警功能或电池状态标尺，甚至还能用于试验产品过压保护功能和对电压波动的适应能力。

◆ 对于电子测试，使用可调直流稳压电源，可以避免由于电子产品自带电池充电饱和度和内阻因素，导致输出电压的变化对测试数据的干扰。很多专业的测试规程也规定，测试必须使用稳压电源来替代原设备的电池。

◆ 对于手机维修，用可调直流稳压电源可以模拟手机电池供电，可用来监视手机实际工作电流，同时也相当于用替换法排除了电池和充电器可能出现的故障。

◆ 对于对讲机、电台的维修，用可调直流稳压电源来替代手持对讲机的电池板和车载电台的汽车电瓶，通过监视发射电流，有经验的维修技师可以初步判断发射单元的工作状态，同时也可排除电池接触不良和内部老化造成的故障。

◆ 对于电池块的维修，可调直流稳压电源可以为各种电池和电池组充电，测试充电状态，由于可调直流稳压电源的电压可调节，所以可根据不同电池组设定所需充电电压，获得不同的充电电流。对于一些老化的镍氢/镍镉充电电池和免维护电瓶，可以通过设定较高的电压对其充电，然后反复充放电来尝试激活。

◆ 对于笔记本的维修，可调直流稳压电源可以替代各种笔记本的电源适配器，只要配上各种插头就能为笔记本供电，通过监视电流的变化来判断一些笔记本常见的故障和工作状态。如果你用稳压电源直接为笔记本供电，你会发现笔记本的实际工作电流远没达到电源适配器上标注的最大电流，而且笔记本的降频工作、液晶显示屏背光亮度设定的能耗改变都能在电源的电流输出上得以反应。

◆ 对于数码产品的维修，可调直流

稳压电源可以替代数码产品的电源适配器和内置电池，方便地判断出是否存在电源方面的相关故障。

功能与配置

1. 显示方式

用于测试和维修的可调直流稳压电源都配备有电压和电流表，用于监控输出电压和电流，也方便用户对电压的设定。大部分稳压电源采用双表头，电流和电压显示状况一目了然。一些早期产品，为了节约成本，采用单表头、双功能切换的方式显示电压和电流，用户需要通过一个开关来切换表头以显示电压或者电流，实际使用起来略有不便。随着表头价格的下降，这种单表头、双功能的设计已经非常少见了。

传统的稳压电源采用指针表头作为指示，随着科技的发展，数字表头价格迅速下跌，现在越来越多的稳压电源采用数字表头来显示。指针表头有大小和精度之分，大表面的指针表头读数方便，但常常被仪表面板空间和产品成本所限制。在指针表精度方面，一般使用国标2.5级的优质表头就能很好地满足普通可调稳压电源的显示要求。对于高端的高精度输出电压源，目前一般主流使用4位以上的数字电压表显示或者采用可编程单片机控制结构。

数字表头与指针表头各有优点。对于稳压电源的恒定电压的显示，数字电压表在易读性方面有绝对的优势。对于电流的显示，数字表头能够胜任绝大多数的情况，不过遇到快速变化的电流，普通数字表头就力不从心了，加上一般电源用的数字表头的性能不会很高，所以会给人数字乱跳的感觉。相比之下，尽管机械指针表指示快速变化的电流也并不是完全准确，但由于其固有的阻尼特性，所以视觉上表针的摆动效果给人比较舒服的感觉。

数字表头的显示方式常见的有三类：一是液晶显示，二是8字发光二极管显示，三是VFD显示。液晶显示视觉效果一般，即便加上背光也改善不大，所以使用者较少。8字发光二极管显示模块具有自主发光、显示对比度大的特点，且驱动电路简单，价格低廉，所以广为各种数字表头采用。VFD屏幕笔画自主发光，对比度高，显示效果好，方便预制各种图标和符号，但有成本高、寿命较短、驱动较为复杂的缺点，一般主要在高端产品上应用。现在高端的可调直流稳压电源已全面使用数字表头显示电压和电流，所以说数显电源是发展的趋势，选购电源如果没有预算的障碍和特殊要求，数显产品是我们的首选。

数显电源和数字电源是两个不同的概念，选购的时候要注意区分。在数字化的时代，什么东西都希望与数字拉上关系，作为仪器也不例外。

所谓数显电源，就是上文中提到的采用数字表头显示的电源产品，其显示界面为数字电压电流表，但内部稳压、调压的电子线路依然是传统模拟线路，电压调节也是通过模拟电位器来实现的。数字电源主要是指电源的调压控制电路是以单片机为核心的数字电路，也被称为数控电源，市场上大部分可编程电源都属于此类。数控电源大部分都具有数字键盘，可直接设定电压数值，即便有调节旋钮，其实内部也是一种编码器，通常没有旋转角度限制，可以连续旋转，并不是普通的电位器。数控电源一般具有较高的电压输出精度，多用于高端场合，同时价格也很高。

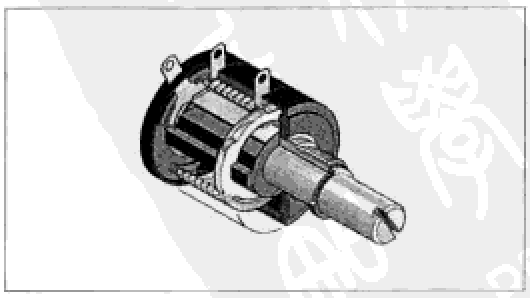
2. 调压方式

在调压方式方面，传统模拟线路的稳压电源通常是采用电位器来调节电压的。理论上，可调电位器的步进值越小，可以实现的电压调节量就越细小。虽然理论上模拟电位器调节分辨率是无穷小的，但限于触点在碳膜带或电阻丝上扫过一圈的长度有限，所以真正的电阻变化分辨率是有限的。为了解决这一问题，就有了多圈电位器的问世。

多圈电位器通过增加旋转的圈数，相当于增加了触点扫过电阻丝的长度，这样多圈电位器同样旋转过一个角度，但电阻变化要小得多，提高了可调电位器的实际分辨率。很多高端的可调直流稳压电源都采用多圈电位器，以期获得更精密的调节，有的产品使用的多圈电位器可达10圈之多。多圈电位器虽然可以提高可调稳压电源的调节精度，但高品质的多圈电位器成本很高，为了控制成本，中低档的可调稳压电源采用新的结构方式来解决这个问题。

低成本解决方案采用一个高阻值的普通单圈电位器和一个低阻值的普通单圈电位器串联的方式，形成“粗调”和“细调”。这样，通过调节低阻值电位器，获得较小的电阻步进，同时靠高阻值电位器

采用8字发光二极管数字表头的稳压电源



多圈电位器结构示意图

获得较大的调节范围，互取所长，可以比较好地解决电压的精密调整问题。由此，通过廉价方案，可以获得0.1V的电压调节精度，也正好配合数字电压表的显示。我们在一些中低价位的可调稳压电源上看到，电压和电流都有两个旋钮进行控制，就是采用上述这种结构。

一般来说，市场上中低价位的稳压电源用两个电位器调节的产品，调节精度要优于单个电位器调节的产品。高档多圈电位器的性能优于两个普通电位器组合使用，但成本高，一般只有高端可调稳压电源才会采用。对于数控线路的可调稳压电源，其调压功能是通过单片机指令DAC电路来完成的，分辨率主要看DAC的性能，通常数控电路很容易将分辨率做得比使用多圈电位器的产品高。一般用于日常消费类电子产品的开发和维修，使用数显电源调节电压的精度达到0.1V已经足够了，过高精度的显示和调节并没有实际意义。

3. 散热方式

可调直流稳压电源有散热片自然散热和风扇辅助散热两大散热方式。散热片自然散热的优点是工作没有噪声、可靠性高，缺点是需要使用大面积的散热片，不但提高了成本，而且增加了产品的体积和重量，现在已经很少有厂家愿意在民用中低档产品中采用这样的设计了。风扇辅助散热可以大大减少金属散热片所需的面积，也降低了成本，缺点是风扇工作时必然有噪声，而且风扇面临积灰和故障的风险，降低了散热系统的可靠性。

为了平衡风扇散热的噪声问题，有的稳压电源采用附加温控电路来控制风扇的工作，延长了风扇的寿命，改善了风扇叶片积灰的问题。附加的温控电路有两种，一种是简单地通过温度继电器或者温敏电阻控制风扇的启停，另一种是通过电路控制风扇调速工作，主散热片越热，风扇转得越快。显然，后一种温控电路效果更好，但成本略高一些。此外，也有一些产品另辟蹊径，采用大口径的风扇，然后工作在较低的电压下，以达到确保气流量，又有低噪声的效果。如果你对噪声比较敏感，那在选购电源时，别忘了关注产品的散热方式以及风扇工作噪声。

4. 电路结构

可调直流稳压电源的电路结构目前主要有线性电路和开关电路两大类。线性电路是传统稳压电源的架构，随着后期稳压集成电路的普及，线性稳压电源具有电路简单、制造维修方便，技术含量低的特点，即便是很多电子爱好者业余在家，也能DIY出性能相当不错的线性稳压电源。

线性电源最引以为豪的特点是，输出直流电比较纯净，容易打造低纹波电源，基本不含高次谐波，不必在滤波上额外花费太多的功夫。同时线性电路的电磁兼容性（EMC）比较好，辐射（EMI）也比较小，大部分产品甚至不必特意设计屏蔽措施。线性稳压电源的缺点是，由于需要使用传统的工频变压器，所以对于功率较大的稳压电源，体积和重量都比较大，而且现在铜材价格高昂，优质的大功率变压器成本很高。此外，线性电路的转换效率也不及开关线路。

可调电源可以提供在设计范围内的任意电压输出，可以替代很多电子产品所用的电源适配器和电源电路，所以就有了“万用电源”的外号。在电子实验中，除了用来当不同电压的电压源外，可调直流稳压电源还常常利用其电压可调特性来测试电路输入电压的承受范围和不同工作状态下实际耗用电流的状况，也被称为实验电源。

开关电源利用电子线路，实现市电向低压直流电的转换，大大减小了变压器的体积和对大容量电容的要求，给稳压电源的小型化、轻型化带来了可能。在成本方面，大功率开关电源的综合成本会比线性电源便宜。由此，一些功率较大的稳压电源较多地使用开关电路。在电路复杂程度方面，尽管现在有很多新型的开关电源集成电路上市，但整体电路复杂度依然远超过线性电路。开关电源在纹波和高次谐波方面比较难控制。一些高端的开关稳压电源为了控制纹波和EMI，额外增加了很多成本。尽管现在开关电源技术已经有了很大的发展，但很多高端稳压电源生产商家依然保留线性稳压电源系列，提供给对输出直流电纹波系数有特殊要求的用户。

综合成本、技术、工艺等因素，目前大部分5A电流以下的小功率可调直流稳压电源都采用传统线性电路，10A电流以上的中大功率可调稳压电源较多采用开关电路。线性电源技术早就成熟，而开关电源技术依然在不断向着高频化、智能化方向发展，现在很多中大功率的稳压开关电源的综合性能已经可以与普通线性电源媲美。

5. 扩展功能

可调直流稳压电源的实用扩展功能可以拓展电源的用途，并保护电源和用电设备的安全。

首先是短路和过流保护，电路实验和维修中，由于误操作或者负载异常，电源经常面临输出过载和短路的情况。标准的稳压电源线路输出是不允许短路和过载的，否则极易烧毁电子元件。为了增加保护功能，很多实用线路都在标准线路上做了改进。大部分中高档可调稳压电源不但输出电压可调，而且过载电流也可以设置。一旦输出过载或者短路，就会进入恒流状态，并发出告警信号。利用此功能不但可以保护电源，还可以将恒压功能为主的稳压电源作为恒流源使用。

其次是过压保护设置。有的可调稳压电源产品设计的电压调节范围比较大，但实际工作中用不到很高的电压。为了防止操作者误操作，有的产品提供了额外的限压设置，缩减电压的设定范围。例如，有的电源设计电压在0～35V可调，但用户买来用于维修7.2V或13.8V的对讲机时不需要更高的电压，为了防止操作意外，用户可以利用限压设置，将电源限压在15V以下，这样即便是错误地设定电压或者电源输出异常，也不容易给对讲机造成危害。

再次，有的电源支持并联或者串联功能，并联的作用是提升输出电流，串联的作用是提升输出电压。稳压电源的串/并联并不是普通产品随便可以做到的。此外，有的电源还提供数据输出或远程遥控操作端口，可以配合计算机软件和远程控制器，记录电源输出数据和远程操控电源，这属于高级应用。

具有3组独立输出的GPD-3303S线性电源

PAK20-18A开关电源

特种可调直流稳压电源

双路和多路可调电源是比较常见的产品，相当于将多个电源装在同一个机箱里，每一路都可以独立地设置输出电压等参数，并配有独立的电压、电流显示，比较适合需要多路电压供电的应用。例如，现在有很多产品需要5V和12V双路供电。有的双路电源还具备跟踪功能，这就是两台独立电源无法做到的功能了。

可编程电源是一种高端的数控电源，电源的工作状态由单片机控制。这类电源的输出电压可以数字化设定，并可以预存多种配置，一般有较高的输出精度和稳定性，多用于科研和高端精密测试。

可调高压直流稳压电源是具有较高直流电压输出的电源。一般稳压电源以直流低压产品为主，电压最高不超过60V。高压直流电源是为特殊需要设计的，其输出的电压甚至可以超过输入电压，达到上千伏。

配置与选择

选购可调直流稳压电源应从实际应用出发，结合预算，本着够用、好用的原则进行配置。

1. 确定稳压电源的最大电压和电流

根据你在实际应用中需要的最大电压、电流，同时结合稳压电源产品的规格和价格，在预算允许的情况下，可以选择电压调节范围宽、输出电流大的产品，留有余量，而且余量大一些总是好的。

一般手机维修用10V(15V)/1A的稳压电源完全够用了，维修手持对讲机用15V/3A的稳压电源比较适合，15V/2A的产品有点偏小，需要维修车载对讲机的应该准备一个15V/10A的稳压电源，维修短波电台则需要15V/20A的大电源。维修笔记本需要配备30V/5A的电源，有些笔记本电源适配器，如IBM X61系列，90W适配器输出电压高达20V，最大电流高达4.5A。维修MP3、MP4、收音机与手机一样，有个10V(15V)/1A的稳压电源就够用了。维修家电一般配备20V/2A的多路电源比较适合。电池组维修的用户要考虑到有些笔记本电池是4节锂电池串联，所以有台20V/2A以上的电源比较实用。

2. 确定稳压电源的档次和功能

如果你是认证实验室级的应用，那么业内顶级品牌电源是你必然的选择，当然价格也是天价。作为小型工作室和小公司的实验室，配置国产名牌的应用级可调直流稳压电源比较务实。国产的应用级电源已经做得很好，除非你需要高稳定度、高精度的电源，那可能就需要考虑进口产品了。

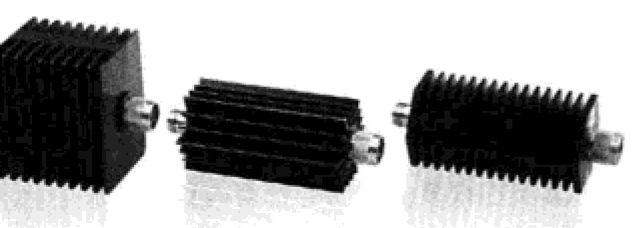
对于常规应用，开关电源与线性电源区别不大，如果你是用于EMC测试场合，那么选择线性电源比较保险。在功能方面，双数字表头的显示方式比较实用，读数和调节都比较方便。分粗调、细调的双旋钮调节会更为精细，低价产品也不指望能用上多圈电位器。基本的短路保护是必须的，如果电源具备可设定过流数值和恒流的功能更好。至于电源串/并联和通信遥控功能属于高级功能和应用，一般用户用不到。

3. 选择品牌

前面已经说过，线性稳压电源在技术上已经没有障碍，主要是产品用料决定产品性能。业内顶级品牌有日本菊水和美国安捷伦，都是针对高端用户。一般小型工作室可选国产名牌双数显表头的产品，国内固纬、托福、兆新、龙威等品牌的口碑都不错。有的支持输出30V/5A的产品目前价格还不到200元，具有良好的性价比。

最后，还要注意一下产品的细节，诸如产品造型、数字表头显示屏的颜色布局、有无电源直流输出专用开关、风扇工作模式及噪声等问题。

认识衰减器



◎齐迈图

衰减器是一种将信号幅度等比例缩减的器件，常用的电阻型衰减器为无源器件，多用于频谱仪、频率计、功率计、无线电综合测试仪等射频设备中。衰减器按照工作频率特性分，有射频衰减器、光衰减器、直流和低频衰减器几种，本文中介绍的为无线电领域用到的射频衰减器。

衰减器不仅可以做成独立的部件，还是多种仪器的组成部分。高性能的衰减器对射频系统的精确测量有重要的意义。外置型衰减器的外形多种多样，小功率衰减器与一个接口适配器转接头一般大，或与一个2W电阻的体积相当，大功率的衰减器有冬天取暖用的油汀那么大，甚至需要小拖车才能移动得了。有的衰减器的外形与负载器类似，但衰减器有输入、输出两个端口，而负载器只有一个输入端口。

衰减器的功能与作用

通过衰减器，大信号可以变换成依然具有测量特征的小信号，以适合测量仪器的输入要求。衰减器将输入信号的幅度按比例缩减，经过衰减输出的信号，除了信号幅度（功率）减小外，依然保持自己的信号特征和携带的信息，包括频率、波形、带宽等，仍然可以用来测量频率、显示波形频谱和解调，通过补偿衰减量，依然可以测量原始信号的幅度（功率）。衰减器衰减了信号的功率能量，将多余的能量转换成热量耗散掉，符合能量守恒定律。在小功率时基本不用考虑衰减器的散热问题，但在大功率应用中，衰减器的自身散热特性就成为一个需要关注的问题，这也是大功率衰减器浑身包裹散热片（见图1）用于散热的原因。

例如，测量一台50W车载对讲机的发射基本参数。由于对讲机输出功率比较大，所以我们需要采用一个30dB的衰减器（信号减小到0.1%），这样50W的信号经过衰减器，就变成了0.05W，适应了频率计、频谱仪等仪器的信号输入幅度要求（大部分高频仪器都不支持高功率直接输入）。

另一方面，使用衰减器可以扩展仪器的量程。例如，一台最高测试功率为60W的功率计，搭配使用一个功率足够的10dB衰减器（信号减小到10%），该功率计的量程就扩展了10倍，可以用来测量最高600W的信号。依照前例，一个50W功率的信号通过一个30dB衰减器，输出功率为0.05W，那么剩余的49.95W功率都需要在衰减器上转换成热量耗散掉，这足见衰减器自身散热的重要性。很多大中型衰减器的表面都有小心高温的标志，衰减器在高负荷、长时间连续工作时，表面温度会高至足以引起烫伤的温度。衰减

图1 被散热片包围的大功率衰减器

图2 BIRD 30dB衰减器

器由于输入功率远超过设计承受功率，会因为内部温度过高而造成损毁。

除了我们容易看到的外置衰减器外，其实在很多仪器内部都有内置衰减器，其作用同样是衰减信号。例如，大多数信号发生器就是利用内置的可调、可变衰减器来控制信号输出的幅度，频谱仪和综合测试仪的输入网络中也会用到可变衰减器来扩展仪器量程。

衰减器实物与应用

图2这是一个常见的30dB/25W DC~4GHz N接口固定衰减量的衰减器，外观看上去十分简单，衰减器两端分别有一个I/O端口，整个衰减器被散热片包裹。这种衰减器使用起来也非常简单，只要将衰减器通过连接电缆串联在信号源/发射机与测试仪器之间即可。需要注意的是，由于不同厂家的衰减器内部电路结构形式不同，有的衰减器是不分信号输入、输出方向的，双向都可使用，有的衰减器为单向使用，必须使用指定的输入和输出端口，接反的话容易损坏衰减器。单向使用的衰减器一般都有明显的输入、输出标识，在输出端口还有禁止反向输入或者限制反向输入功率的警告。使用衰减器时，应先了解产品特性，仔细阅读产品说明书，注意仪器上的标识。

衰减量、承受功率、工作频率、接口类型、端口阻抗是衰减器最重要的五大指标。

衰减量是指衰减器设计的衰减能力，一般用dB单位表示。dB是比值单位，常见的3dB衰减量就是将信号输出幅度缩减为原信号的50%；10dB衰减量就是将信号输出幅度缩减为原信号的10%，20dB衰减量就是将信号输出幅度缩减为原信号的1%。

承受功率一般是指衰减器可以长时间工作的最大设计功率。如果用于短时信号，衰减器可承受的最高功率可以提高数倍，这在产品说明书中会有详细说明。衰

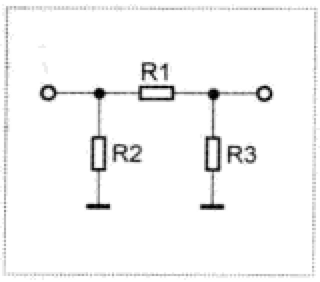


图3 π型衰减电路

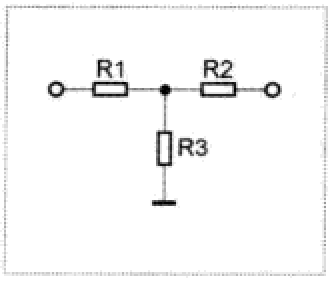


图4 T型衰减电路

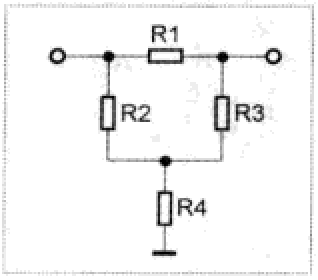


图5 桥T型衰减电路

减器承受的功率与其内部采用的电阻功率和搭配散热器的效能有关。前面已经介绍了，衰减器需要将大部分能量转换为热能消耗掉，如果散热不及时，就会使电阻工作温度过高导致电阻损毁。所以，承受功率越大的衰减器，配用的散热片体积也越大。

工作频率是指衰减器可以稳定处理信号的频率范围。随着频率的增高，衰减器的驻波将逐渐劣化，衰减量的不稳定性增加，直接影响衰减量的精度。衰减器的最高工作频率与产品的设计结构有很大的关系。普通的衰减器工作频率通常在DC～4GHz水平，一些工作频率高的衰减器可达18GHz以上。

常见的功率型衰减器多使用N型接口（L16型），小信号衰减器多采用SMA或BNC接口。由于接口特性的问题，一般小功率、高工作频率的衰减器大多采用SMA接口。本着尽量少用转接头的原则，尽量选择与测试仪器或者电缆相匹配的接口类型。

衰减器必须接入与传输阻抗一致的系统才能达到设计的衰减量。一般常见衰减器端口阻抗有50Ω和75Ω。

衰减器除了应用于测试仪器外，也用于日常电视机和收音机的信号接收。使用衰减器可以改善接收过强信号的情况，使前端高频放大电路工作在合适的状态，避免输入过载。在有些收音机上提供ATT功能，其实就选择内部衰减器，通过衰减信号提升收音机的选择性。在专业和业余无线电测向中，遇到近场高场强测向时，使用衰减器可以有效减小强信号进入测向接收机的幅度，有利于测向机指示变化的场强，有效避免满表的状况。

衰减器原理与结构

固定衰减量型衰减器的基本电路结构非常简单，就是一个电阻网络，只需几个电阻即可。最简单的定值衰减器可以只是一个电阻，最简单的可调衰减器可以只是一个碳膜电位器，当然这类简单的衰减器没有精度和传输匹配可言。作为仪器级的射频衰减器，需要由简单的电路构成，常见的对称电路形式有π型、T型、桥T型，见图3～图5。

这三类对称形式电路的衰减器端口是不指定输入、输出方向的。在一个高倍率衰减器中也有采用采样型电路的，这就使衰减器端口有了特定的输入、输出方向。固定阻值衰减器多采用π型或T型基本电路，可变衰减器多采用桥T型电路。衰减器虽然看似电路非常简单，但实际要制作一个高工作频率、高功率的衰减器却很不容易。

首先，衰减器电路对电阻提出了很高的要求。在电阻网络中，电阻的阻值虽然不难计算得出，但很多都不是常规电阻系列中的规格，考虑到尽量减少引线，所以不宜通过串/并联的形式使用标准值电阻达到目标电阻值。

例如，采用上图中基本π型电路制作一个20dB衰减量的衰减器。计算可得3个电阻分别为$R1$=246.8Ω $R2$=61.1Ω $R3$=61.1Ω，这些都是非标准阻值。而且衰减器对电阻阻值的误差有很高的要求（否则将影响衰减量），同时电阻不能是常见的线绕电阻或者刻槽型电阻，必须是

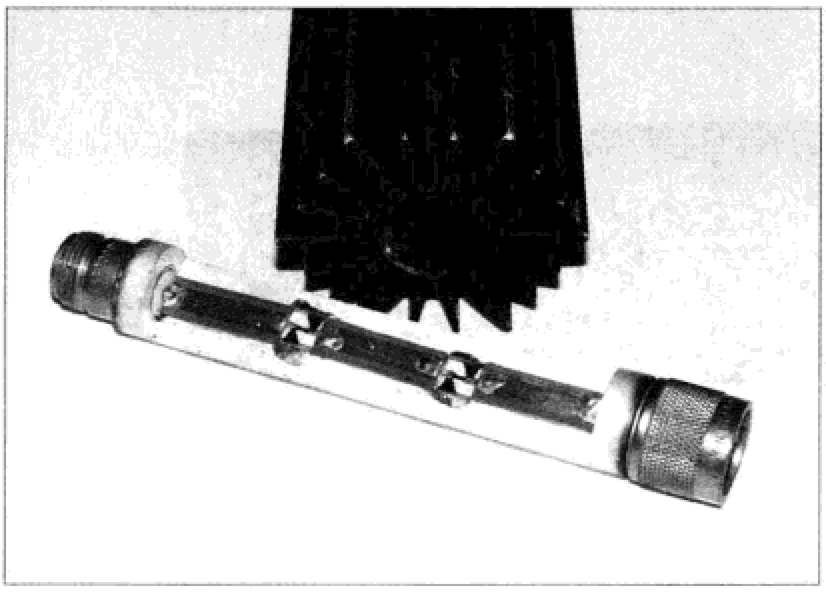


图6 成品衰减器内部结构

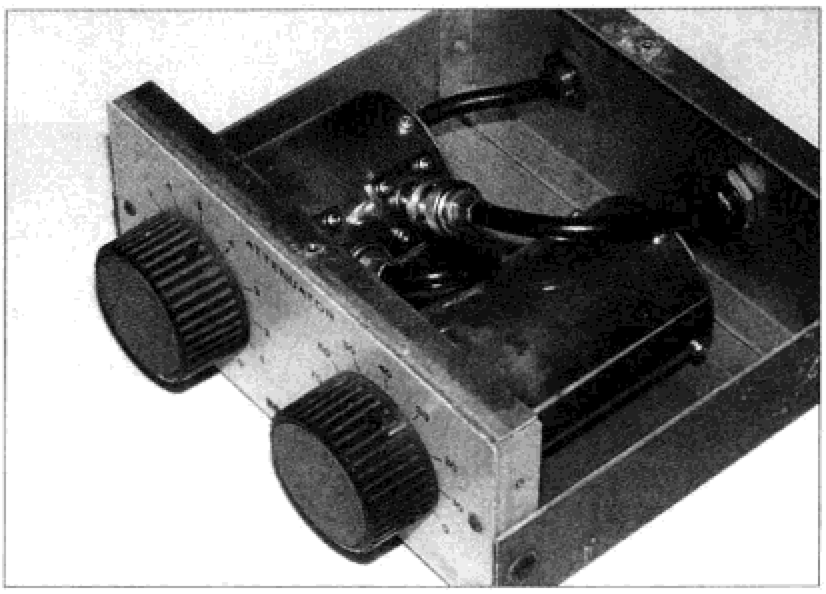


图7 可调步进衰减器内部结构

无感电阻。对于功率型衰减器，还要求电阻能承受相当的功率，并能与散热器良好的结合。此外，电阻要有良好的温度稳定性，不能随着温度升高而出现电阻值较大的波动变化。由此可见，符合制作高频率衰减器的电阻大部分需要定制。

其次，高频率的衰减器在内部结构上也有讲究。因为在频率较高的情况下，一根引线都会形成不可忽略的分布电感，元器件之间、元器件与外壳之间也会形成不可忽略的分布电容，这些分布电感和分布电容会影响衰减器的纯电阻特性，继而影响传输特性（导致驻波比劣化），引起衰减器衰减量的不可控变化，影响衰减量的准确度和带内衰减量的稳定性。

实际制作中，随着工作频率的升高，分布电感和分布电容对衰减器传输的影响会越来越明显。所以，作为商品，同样衰减量和功率的衰减器，最高工作频率不同，价格也会相差很大。对于无线电爱好者来说，要DIY有一定精度和功率的高射频频率的衰减器，比DIY假负载要困难得多，元器件材料不容易买到、金工件布线设计都是问题。

典型的可调衰减器内部同样是由电阻构成，通过波段开关来切换不同阻值的电阻，以构成不同的衰减量。对于大衰减量范围，小步进可调的衰减器通常采用两种不同步进值的可调衰减器串联而成。例如，将一个衰减量0~10dB、步进为1dB的衰减器，与一个衰减量0~80dB、步进为10dB的衰减器串联起来，就很容易得到一个衰减量0~90dB、步进为1dB的大范围衰减器。

衰减器衰减量的准确程度关系到测量系统的准确度，所以衰减器除了在电路上尽量提高准确度外，在I/O接口上也应该尽量减少插入损耗。采用高品质的接插件可以使损耗降到最低，也可以使驻波比劣化控制在较低的范围内，很多高档接口的内部都是镀银或镀金的。考虑到接口在很多环境中容易被氧化，引起插入损耗剧增，所以高档接口的中心接触部件都采用镀金工艺（银容易氧化），同时为端口配上橡胶盖帽。对于小型的衰减器，则还配有密封的干燥盒。

现在，一般用网络分析仪就可以方便地测量衰减器的真实性能，包括衰减准确度和带内衰减量波动以及性能随频率升高的劣化情况。

形形色色的衰减器

衰减器根据不同的应用功率和结构形式有着各种不同的外形。

图8是典型的小功率固定值衰减器，外形上与一个N型转接器差不多大。这类

图8 小型固定值衰减器

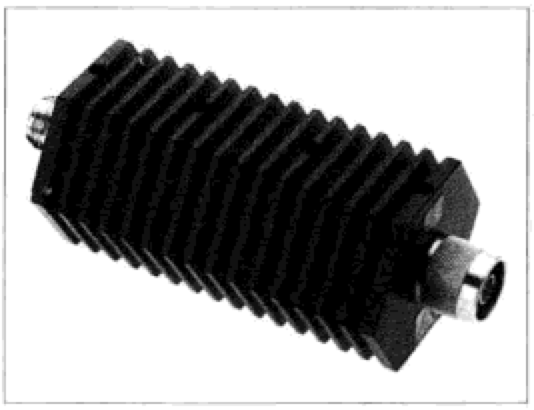


图9 50W/20dB衰减器

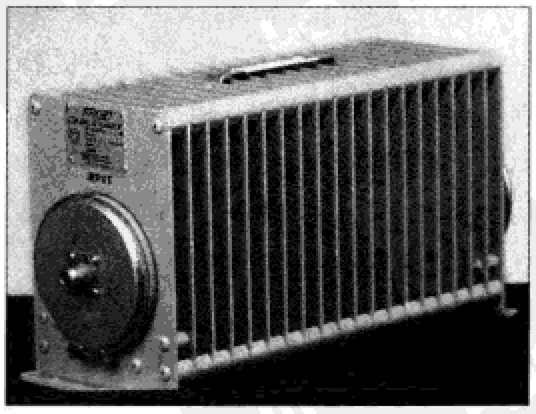


图10 200W/30dB衰减器

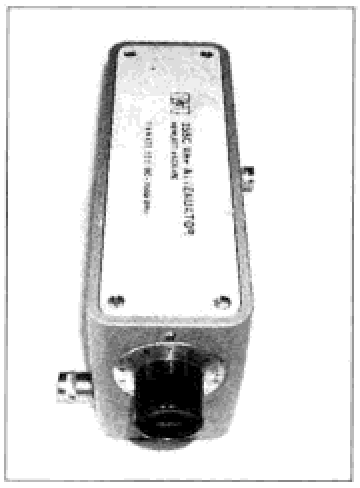


图11 HP步进衰减器

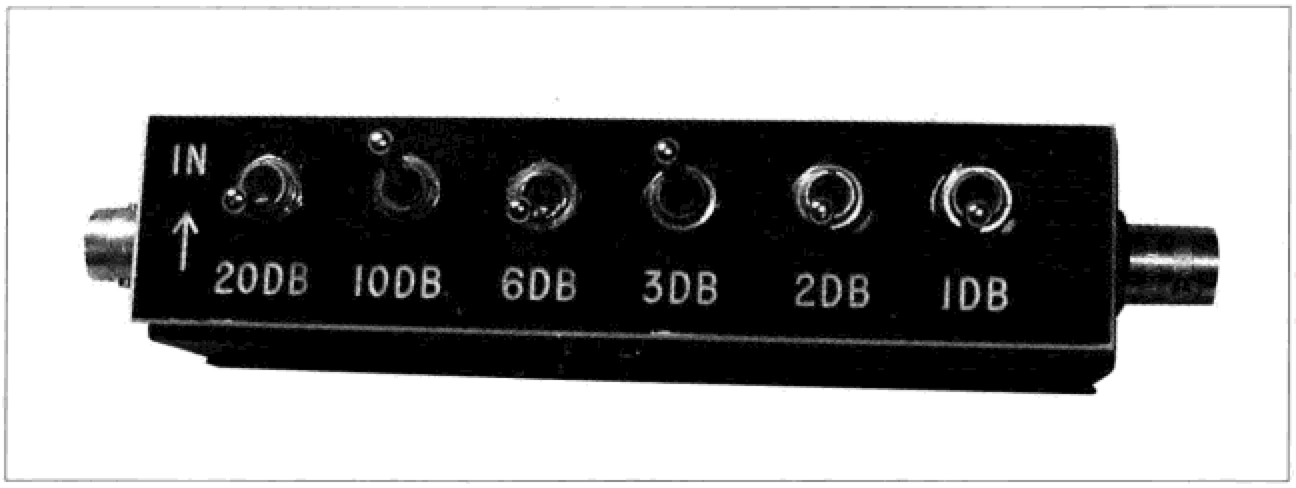


图12 步进衰减器

衰减器一般承受功率在5W以下，主要是用来衰减小功率信号的，多用在频谱仪前端。由于其体积小巧，所以可以直接安装在仪器的输入接口上，避免使用仪器与衰减器间的连接电缆，减少插入损耗。

图9是典型的中小功率固定值衰减器，衰减器外部明显包裹着散热片，一般承受功率在20~50W，主要用于对对讲机发射基站的信号进行衰减，多用在频谱仪频率计的前端。

图10是典型的大功率固定值衰减器，由于需要消耗的功率很大，所以散热片体积也很大。这类衰减器承受功率可以做得很大，小则一二百瓦，特大的可以到上千瓦，主要用于一些大功率发射机信号的取样测量。

图11是典型的可调步进衰减器，它通过波段开关来设定衰减量。一般可调衰减器承受的功率都比较小，多用于1W以下的小信号。

图12是典型的可调衰减器的另一种形式，它通过拨动开关或按键开关来选择接入不同衰减量的单元，相当于选择性地串联一些衰减器，达到目标衰减量。这种形式的衰减器一般工作频率不高（1GHz以下），也是小功率型的衰减器。

衰减器品牌与选用

国内用得较多的衰减器进口品牌有Bird、Weinschel（Aeroflex）、JFW、HUBER+SUHNER、Mini-Ciruits、Narda等。其中，Bird的大功率衰减器和Weinschel、HUBER+SUHNER、JFW的高频率衰减器比较有名。著名射频仪器厂家Agilent/HP、Rohde&Schwarz、ANRITSU也有很多衰减器产品，不过大多作为仪器配件销售。国货衰减器比较有名的是上海华湘和安泰信的产品，产品已成系列，且价格方面较进口货更具性价比。

选择衰减器首先要选择适当的衰减量，其次要保证衰减器有足够的功率容量和工作频率带宽，最后可以考虑一下外形。一般圆柱形的衰减器容易在桌面上滚动，六角形就不容易滚动，长方形的比较稳重，方便固定摆放。

如果用于实验室小信号试验，可以考虑配备成套的小型衰减器，这样有多种衰减量规格的衰减器供选择和组合使用。用户不用追求过大功率的衰减器，使用功率余量过大的衰减器在技术上没有问题，只是大功率衰减器体积和重量都比较大，容易给操作带来不便，同时价格也高不少。工作带宽高于12GHz的衰减器价格会升高很多，如果测试项目没有涉及很高的频率，也不必过分追求超高工作带宽的衰减器。

原则上，衰减器可以串联使用，其衰减量是所有串联衰减器的总和，不过由于串联时涉及接头和电缆的累计插入损耗，会影响衰减量的准确度，所以在高精度的测量中应尽量避免。基于同样的原因，使用衰减器时应尽量少用转接头和过长的连接电缆。对于怀疑有问题的衰减器，可以通过矢量网络分析仪进行检测。如果手头没有矢量网络分析仪，可以用信号源配合频谱仪来观察不同频率下的信号衰减情况。

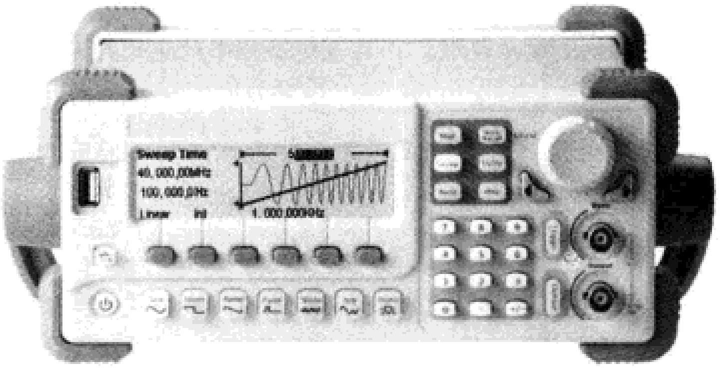
衰减器应该有良好的保存环境，以防止接口部件的氧化，尤其是环境比较潮湿的地区。有条件的，应该将衰减器存放在干燥箱（盒）内，衰减器平时不使用时，带上原配的胶帽封口，对减缓接口氧化有很大好处。

一台最高测试功率为60W的功率计，搭配使用一个功率足够的10dB衰减器（信号减小到10%），该功率计的量程就扩展了10倍，可以用来测量最高600W的信号。

小型电子工作室仪器选购

◎聆听

选对信号发生器



信号发生器在电子工作室仪器配置方面属于比较高阶的设备，广泛应用在科学研究、计量校准、教学实验、产品开发、电子产品维修、IC芯片测试等领域。电子工作室配置一台适用的信号发生器，不但会提高测试能力和工作效率，还可以实现实验室部分仪器间的相互校准，增进对仪器真实性能的了解，增加对仪器操作的熟练程度，并通过互校提早发现测量仪器存在的故障。

在低端入门级信号发生器领域，国产仪器已经有很大的发展，并开始进军中档市场，产品从早期的纯模拟线路向现代化的数字可编程器件、单片机智能控制构架等方面发展，性能也不断提高。随着国产入门级信号发生器不断上市，很多产品的价格不再高高在上。很多入门级产品作为应用级使用，其性能也绰绰有余。适宜的价格、实用的性能非常适合小型电子工作室配备。

用途广泛的信号发生器

信号发生器又被称为“信号源”，是用来产生振荡信号的一种仪器，其作用是提供使用者所需的理想信号——稳定、可信且信号的特征参数完全可控。所谓信号特征参数，主要是指信号的频率、幅度、波形、调制形式等参数。信号发生器在实际应用中大部分是扮演提供标准信号和模拟实际信号的角色。用户利用信号发生器产生特定频率、幅度的波形或调制的“理想”信号，将信号输入电路，然后测量信号在各级电路中的变化以及最终输出，据此评估电路是否达到设计预期，并可依此对被测电路进行调整和改进。

在实际工作中，高性能的信号发生器还能用来校准一些测量仪器，包括示波器、频谱仪、高频毫伏表、频率计。

◆检测示波器带宽

大家都知道100MHz带宽的示波器可以观察100MHz信号的波形，但不能正确测量100MHz信号的幅度。不同品牌、型号的示波器真实带宽都不同，通过信号发生器，我们可以方便地检测自己手头使用的示波器的真实性能。将信号发生器设置一个固定的输出电平，将示波器的探头连接信号发生器的输出端，然后慢慢升高信号发生器的工作频率（输出幅度保持不变）并观察示波器电压测量读数。当示波器电压读数出现明显下降时，信号发生器的频率就是这台示波器可以准确测量的交流信号的带宽，以后如果测量小于该带宽的信号，示波器上的幅度读数是基本可信的。继续提升信号发生器的工作频率，找到示波器电压测量低于真实值3dB的频率点，这时信号发生器的频率就是该示波器的真实带宽。经过实际检验你会发现，有些好的示波器的实际带宽会远高于标称数值。

◆检测频谱仪故障

利用信号发生器还可以检测频谱仪内衰减器的工作状况，频谱仪内衰减器故障是频谱仪最常见的故障。通过工作正常的信号发生器向频谱仪输出连续变化的信号，观察频谱仪测量读数是否与信号发生器读数一致，如果出现明显的读数跳变和数值差异，则说明频谱仪很可能出现了故障。高精度、高准确度的信号发生器可以为频率计校准频率，如果频率计的频率正确度较高，则可以校准信号发生器的频率。

进一步了解信号发生器

除了提供信号的类型外，信号发生器的基本性能包括信号载频的稳定度、信号的相位噪声、信号的纯净度、输出电平精度。

载频的稳定度主要与信号发生器频率产生单元的结构和基准有关。高稳定的频率源需要由高稳定度的晶体产生。石英晶体除了加工品质外，自身稳定度受外界温度影响较为明显，所以高稳定度的晶体振荡器都额外配备温度补偿设计，高档的直接使用恒温槽，对于更高要求的基准频率源还会用到铷钟和铯钟。

有了稳定的参考基准，信号发生器频率产生单元采用的电路形式与载频稳定度相关，使用PLL锁相环或DDS频率直接合成电路会比使用压控振荡器和LC振荡电路稳定得多，但成本也高出很多。在基准稳定的基础上，频率的正确性要靠定期计量校正来实现。

信号发生器的射频电路和滤波电路设计直接关系到输出信号的纯净度。虽然我们希望只输出目标频率上的唯一信号，但实际上，限于一些射频电路和元器件的特性，在产生主工作频率信号的同时，还会寄生出高次谐波等我们不希望的杂散信号。对此，在信号发生器的设计上，只能尽量抑制，包括使用一些附加的电路和加强屏蔽措施，这样就进一步提高了仪器的电路复杂程度和成本。这也是一些高精度、高性能信号发生器体积巨大的主要原因之一。

信号发生器的输出电平精度也是一个技术难点，虽然信号发生器通过可调衰减器实现输出电平的调节，这一点在原理上看似不难，但实际上，要在很大频率范围内保持很高精度的衰减量，而且还是连续可调的，还考虑到信号泄漏等问题，做起来会十分困难。现在，由于高集成度的DDS芯片的出现，频率合成电路的设计难度大为减低，但控制高精度的电平输出依然是信号发生器设计的难点，尤其是对一些小信号的输出控制。这也是很多国内厂家尚不能生产高精度信号发生器的原因之一。

高精度信号发生器绝不是用几块现成芯片加上简单的外围电子线路就能拼凑出来的。高端信号发生器具有很高指标的频率稳定度、相位噪声、频谱纯净度、输出电平精度和范围、开关转换速度，价格非常昂贵，多用于科研和计量领域。一般小型工作室限于预算大多无缘使用，除非是一些二手老仪器。小型电子工作室主要是简单的产品开发、电子和通信产品维修及个人电子爱好者的应用，属于普通应用，对于信号发生器指标要求往往并不高，一些低端的入门级信号发生器已经可以基本满足应用的需要。

常见的信号发生器

信号发生器能模拟各种形式的信号，产生不同类型的信号对应有不同的信号发生器。按照信号发生器产生信号的通用程度，分为通用信号发生器和专用信号发生器。通用信号发生器一般提供常用的基础信号，如正弦信号、方波信号、函数信号、AM/FM高频信号，用途比较广泛，常见的有函数信号发生器、高频（射频）标准信号发生器。高端的还有矢量信号发生器、微波信号发生器、基带信号发生器。专用信号发生器一般提供特定调制的信号，应用范围窄，但针对性强，其提供的信号是一般通用信号发生器所不具备的，常见的有电视信号发生器、GSM/CDMA/TETRA信号发生器、AM/FM立体声信号发生器等。

1. 函数信号发生器

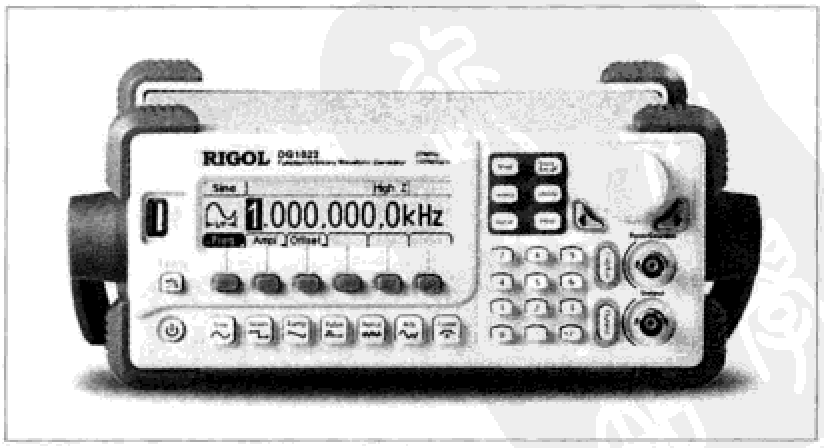
函数信号发生器的特点是可以产生多种常用的波形信号，如正弦波、方波、三角波、脉冲波、升斜波、降斜波、随机噪声等，这些信号广泛应用在电路实验、产品开发、数字电路检测等领域。函数信号发生器有时也被充当音频信号发生器和低频信号发生器使用，有的函数信号发生器还附带高功率信号输出功能，所以函数信号发生器用途广泛，涉及众多领域。

市场上有一类产品被称为“任意波形发生器”AWG，这是函数信号发生器数字化构架后的功能新拓展，它利用数字采样技术和信号处理技术，可以得到几乎想要的任意波形信号。常规函数信号发生器工作频率不高，低的只有1～2MHz，高的在40MHz左右。一般的基础应用，20MHz的函数信号发生器已经足够了。

低端的函数信号发生器采用压控振荡器电路，用户通过调节电位器来改变工作频率，这类电路频率稳定度低，线路简单，成本低。为了准确指示频率，通常还会集成一个简单的计数器，搭配数码管，来实时指示频率，有的产品还可将集成的计数器单独作为频率计使用，以扩展使用功能。

目前中高档的函数信号发生器都采用DDS频率直接合成技术，提高了频率稳定度和操控性能，产品可以通过键盘直接输入频率，同时界面显示升级为VFD或点阵液晶屏，甚至TFT彩屏。由于广泛采用了数字信号处理技术，这类函数信号发生器提供了更多的波形参数设定功能，通常预设了超过30种常用波形，并可以由用户自定义波形。

市场上采用压控振荡器的低价位函数信号发生器主要有胜利VC2002、优利德UTG9005C、盛普SP1641B、安泰信AT8602B、龙威LW-1643、绿扬YB1602、扬中CA1640。采用DDS频率合成的中档产品有普源DG1022和DG2041A、安泰信ATF20A/ATF20B、固纬SFG-2010、绿扬YB3002、盛普SPF20。其中，普源DG1022外观设计新颖、功能丰富、操作便捷，最高工作频率可到20MHz，实用性强，价格适中，广受私人用户和小型工作室



普源DG1022

用户的欢迎。高端的函数信号发生器主要是安捷伦和泰克的产品，如Agilent的33210A/33220A/33512A，Tektronix的AFG3000系列和AWG5000B系列。

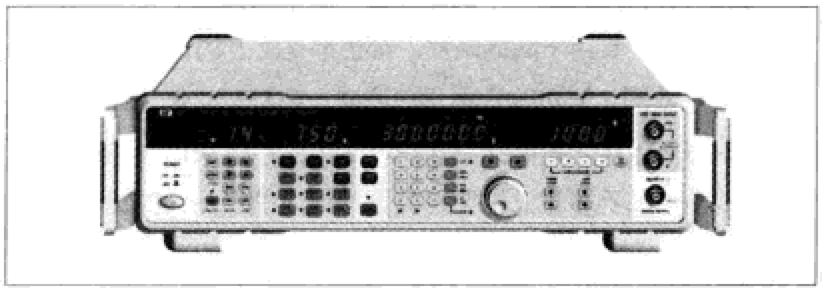
2. 高频信号发生器

高频信号发生器也被称为“射频信号发生器”，可以工作在很宽的频率范围内，工作频率可以高至数百兆赫兹甚至几十吉赫兹。高频信号发生器通常提供常用的基本AM/FM调制，也可以外接调制，被广泛应用在无线电通信和射频电路领域。

低端的高频信号发生器采用LC振荡电路，用刻度盘方式指示工作频率，这样的结构具有谐波丰富、结构简单、成本低廉的特点，但频率稳定性差，信号的输出幅度通过简易衰减器来控制，谈不上什么精度。由于中档高频信号发生器价格很高，所以很多私人的小型工作室依然在使用这类廉价的高频信号发生器。采用LC振荡电路的简易高频信号发生器搭配频率计，实时测量输出频率作为指示是很多用户使用的土办法，可以消除刻度盘频率指示的误差。有示波器的用户也可以用示波器来监测它的信号输出幅度。

采用LC振荡电路的高频信号发生器

工作频率可到1100MHz的AT8010D



AM/FM立体声信号发生器SP1502

中高档高频信号发生器采用PLL锁相环或DDS频率直接合成电路，有效地提高了频率输出的稳定度和频率设置方便程度，高端产品配合高稳定度基准，使得信号输出稳定度达到相当高的水平。数字化信号输出控制大大提升了信号发生器输出电平的精度。

市场上，低端的高频信号发生器主要有龙威TSG-17、美瑞克RSG-17、乐达LGS202A，价格在二三百元，非常便宜，也具有相当的实用性，适合初级应用。这些产品最高工作频率大多为150MHz，利用三次谐波可以扩展到450MHz。工作频率范围相同、结构设计高级一点的AS1051S价格就要超千元了。一些与AS1051S同类结构的日本和中国台湾的二手产品比较受欢迎，价格仅在200元左右，典型产品有日本利达LSG-17、中国台湾LODESTAR SG-4160B。国产的中档高频信号发生器主要有工作频率到1100MHz的AT8010D、工作频率到300MHz的盛普SP1461-V。高端产品首推安捷伦和罗德与施瓦茨的产品，国内各大实验室用得较多的有Agilent E4428C、Agilent N5181A、R&S SMA100A/SMB100B、R&S SML03等。

3. AM/FM立体声信号发生器

AM/FM立体声信号发生器是为调校收音机设计的专用产品，工作频率覆盖中波、短波和调频广播频率。目前市场上的主流产品多采用频率合成技术和数控信号输出电平电路。与通用高频信号发生器相比，AM/FM立体声信号发生器工作频率较低，一般在150MHz以下，但提供有AM/FM立体声广播制式的调制模式。市场上的典型产品有盛普SP1502和韩国金进SG-1501B，两者都是全数字显示界面，性能相当。

信号发生器市场一览

目前国内高端信号发生器市场主要是国外品牌的天下，Agilent（安捷伦）、Rohde & Schwarz（罗德与施瓦茨）、Tektronix（泰克）、Aeroflex-IFR（艾法斯）都是国际著名射频仪器生产巨头，在高端市场提供了无与伦比的高性能产品，也是认证实验室设备不二的品牌选择。至于小型工作室，限于预算，往往不可能配置价格昂贵的高端仪器，而且从事的项目也往往对仪

附表 信号发生器配置指南

<table>
<tr><th colspan="2">应用领域</th><th>配置建议</th><th>具体用途</th><th>备注</th></tr>
<tr><td colspan="2">音频应用</td><td>音频信号发生器或工作频率不很高的函数信号发生器</td><td>1. 为音频器件和电路的测量提供激励源。
2. 配合示波器测量音频处理电路的失真情况和增益。
3. 配合频谱仪测量音频电路和器件的频响特性。
4. “煲”扬声器</td><td>有些音频应用需要较大的激励信号，所以能输出较大功率的功率型信号发生器更为实用</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">教学实验</td><td>函数信号发生器</td><td>初级电子线路实验和初级数字电路实验</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>高频信号发生器或微波信号发生器</td><td>射频电路实验，与示波器配合，生动直观地演示典型电路对信号处理的效果</td></tr>
<tr><td rowspan="3">电子产品维修</td><td>维修电视机</td><td>电视标准信号发生器</td><td>能高效地将电视机调校到完美状态，包括色彩、扫描、聚焦等</td><td></td></tr>
<tr><td>维修收音机</td><td>包含中、短波和调频立体声的信号发生器</td><td>统调收音机通带灵敏度</td><td></td></tr>
<tr><td>维修手机</td><td>高频信号发生器或手机信号专用发生器</td><td>配合示波器或频谱仪，测量手机射频电路的状况</td><td>特别适合维修一些接收信号不稳定、容易掉线的故障手机</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">业余电台</td><td>高频信号发生器</td><td>1. 提供不同强度的信号，配合电台接收机上的接收信号强度表，将接收机的灵敏度调节到最佳状态。
2. 通过信号发生器的输出幅度指示，测量接收机的灵敏度数值。
3. 配合示波器或高频毫伏表，测量接收电台各级接收电路的增益情况，判断接收电路的故障所在</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>扫频信号发生器</td><td>1. 配合频谱仪，构成频率特性扫频网络（一般被业余电台爱好者称为“带跟踪源的频谱仪”），用来调整双工器、低通带滤波器等网络。
2. 配合驻波比电桥，图示化地测量天线的阻抗特性</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">电子产品开发</td><td>函数信号发生器</td><td>基础配置</td><td rowspan="2">在产品开发后期进行电路验证时，会经常涉及到一些极限情况的测试，通过信号源可很容易和准确地模拟各种特殊情况</td></tr>
<tr><td>专用信号发生器</td><td>根据开发项目的领域配置</td></tr>
</table>

器的性能提出的要求不高，所以一些高性价比的国产信号发生器和二手进口货成为小型工作室务实的选择。

近年来，国产信号发生器在通用性很强的函数信号发生器产品上有较大的突破，这得益于国外DDS（频率直接合成）高集成度芯片的普及和可编程器件技术的应用，它们大幅度简化了函数信号发生器的线路，降低了射频设计的难度。很多生产万用表和示波器起家的国内仪器企业都开始涉足这一产品，优利德、胜利、盛普、普源、安泰信等都纷纷推出了自己的函数信号发生器产品，而且很多产品还采用国际主流的新型数字化构架，在整体结构上不输于国际大牌产品，堪称国货精品。国货最大的特点就是价格便宜和中文化的操作，数字化的普源DG1022和安泰信ATF20B是国内高水平之作，功能实用，作为20MHz数字合成函数信号发生器，其售价不到2000元。更多传统模拟电路采用压控振荡器调节频率的函数信号发生器价格进一步下跌，不少产品价位仅在600～800元的水平。低廉的价格使得小型工作室更容易接受。

早期国营无线电厂产的高频信号发生器和标准信号发生器，由于结构老旧、外形笨重，基本被淘汰，很长一段时间高频信号发生器市场都被进口品牌占领。受技术和市场限制，国内民营企业对新一代高频信号发生器的研制刚刚起步，虽然已经有了一些产品，但尚未受到用户广泛认可。国内较多厂家提供的低价位高频信号发生器最高工作频率都在300MHz以下。一些工作频率到1GHz的国产高频信号发生器的价格都在万元以上，虽然比国外大牌产品已便宜很多，但对于小公司和个人的小型工作室依然较难承受。如果预算在8000元以下，添置1GHz档次高频信号发生器，笔者建议倾向二手进口产品。对于预算较多的国家级实验室，性能卓越的国际顶级品牌产品当然优先选择了。

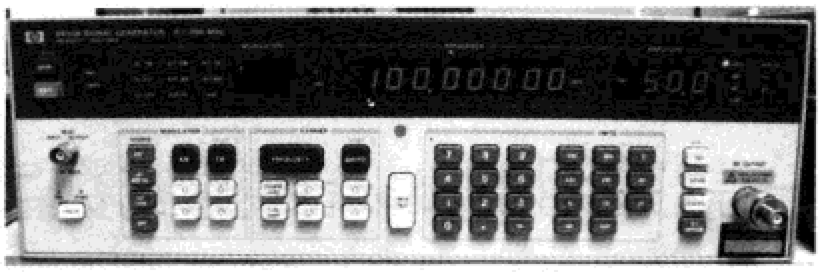
专用的电视信号发生器领域，低端的简易电视信号发生器基本是国货的天下，而且由来已久，很多产品价格在三五百元间，十分便宜。这类产品大多由中小企业生产，虽然结构简单，指标不高，但对于电视机的维修和调校非常实用。数字电视兴起之后，对应的就会用到数字电视信号源，这个领域目前还主要是进口产品为主，主要用于高端研发，价格都是上万的。

由于在我国大城市收音机用户剧减，AM/FM立体声信号发生器对应的市场近年来并不受到重视，国内生产这类产品的厂家也不多，欧美产品不多见，主要是韩国和国内的产品，国货价格在6000元左右，韩国进口的产品在7000～8000元的水平，两者性能相当，价格相差不大。

二手信号发生器的选购

鉴于目前市场上信号发生器的行情，建议小型工作室选购函数信号发生器时选择国货新品，国货产品性能已经有很大的提高，而且产品选择的范围也比较大。高频信号发生器由于新货价格都比较高，所以在预算不足的情况下考虑二手进口货。AM/FM立体声信号发生器新货的价格也不便宜，对于出于个人爱好玩收音机的发烧友和私人小型工作室，选购二手产品比较划算。

二手高频信号发生器首选美国HP的产品，HP（惠普）是世界顶级仪器制造厂商Agilent的前身，产品的性能与耐用程度在业界有口皆碑。与德国射频仪器相比，其技术不分伯仲，但在仪器的耐用性方面，尤其是经过二三十年后的低故障率方面，那HP绝对大幅领先，这也就是在二手市场上HP老产品特别多见的原因之一。高精度仪器的原厂维修成本相当高，基本不要指望二手仪器出现大故障后的修理。推荐的HP高频信号发生器型号有HP8656、HP8657、HP8642、HP8640，这些产品基本都是1GHz的高频信号发生器，二手价格在3000～6000元水平。高频信号发生器除了HP的产品，在二手市场上马可尼2019、2022A、2022D也是比较经典的产品，二手市场价格同样在3000～5000元。



经典的HP8656

HP3325B曾经是非常经典的高性能函数信号发生器，目前二手市场上价格在2000元左右，但究其二手性价比来说，已经没有一些国货新品高了，所以除非有特殊的需要，否则HP3325B并不值得购买。

二手的AM/FM立体声信号发生器，随着原来一些收音机生产企业转产或撤销生产线，现在在二手市场上出现成批的二手产品，其中不乏早期日本松下、菊水、目黑的产品。松下VP-8177A虽然是老型号仪器，但结构、性能不差，价格也非常实惠，只要五六百元就能买到，用来调试收音机非常好用。

选购二手信号发生器除了外观，更重要的是确认仪器工作正常。作为信号发生器，首先要确保信号输出稳定，其次保证输出幅度正确。可以通过示波器观察信号源输出波形是否正确、输出幅度是否正常，通过频谱仪观察输出信号是否稳定、输出幅度是否正常以及输出频谱纯净程度如何。

新品信息

福禄克公司推出4通道手持示波表Fluke 190 Series II

福禄克公司推出Fluke 190 SeriesII便携式4通道示波表。该系列ScopeMeter示波表带有电气隔离通道，安全等级高，十分坚固耐用，同时具有台式示波器的高性能。Fluke 190 SeriesII系列示波表是第一款针对CAT IV工业环境制造的4通道示波器，具有采样高速度、高分辨率的特点——采样率高达2.5GSa/s，分辨率达400ps，而且此系列示波表具有即触即测的功能，可以方便地捕获和分析未知的复杂波形，电池寿命较长，通过新的USB接口，可以快速地保存和共享测量结果。

威泰克斯推出VX-450系列手持无线对讲机

威泰克斯推出了VX-450系列手持无线对讲机。该系列对讲机能够承受工地现场的恶劣环境，即使在1m的水下浸泡30分钟也不会破坏设备性能，700mW大功率清晰音频输出，锂离子电池可连续工作达18小时，具备VOX声控发射以及语音信道播报功能，使用非常简便。VX-450系列还具有多种安全功能，如专用的可编程按键发出紧急警报，独有的通信范围自动询答系统，“Man Down”倒地报警功能等。其他功能还包括，语音转换加密、内置MDC-1200®编码/解码和2音/5音编码/解码，频率范围包括VHF134~174MHz和400~470MHz。

同惠TH2822C

一款实用的LCR便携式数字电桥

◎杨绪业 林捷

我们平常使用的无源器件（电阻、电容、电感）都标有一定的数值，从使用的角度上，都已经确定了该器件的数值，但我们都知道，器件的标称值和实际值之间有一个误差，误差通常是一个范围；有时候我们希望知道这个误差确切的数值，有的时候我们必须根据确切的误差修改电路的其他参数，所以，对这些无源器件的实际数值的测量是必不可少的。LCR数字电桥就是用来测试电感、电阻、电容数值的常用工具。

什么是LCR数字电桥

LCR数字电桥，又称为LCR测量仪、LCR电桥、数字电桥等，其测量对象为阻抗元件的参数，包括电感L及其品质因数Q、电容C及其损耗因数D，以及交流电阻R。它的测量用频率从工频到约100kHz。

LCR数字电桥是一种习惯的说法。最早测试LCR，是采用真正的电桥平衡测试的方法，现在一些地方也还使用。后来人们采用数字技术测量阻抗参数，数字技术是将传统的模拟量转换为数字量，再进行数字运算、传递和处理。1972年，国际上首次出现带微处理器的数字电容电桥，它将模拟电路、数字电路与计算机技术结合在一起，为阻抗测量仪器开辟了一条新路。

同惠的TH2822C手持式LCR数字电桥就是一个非常便捷的测量仪，笔者使用之后，感觉它不但体积小、方便携带，而且精度高、速度快、配件齐全，远远超过了已有的早期产品。

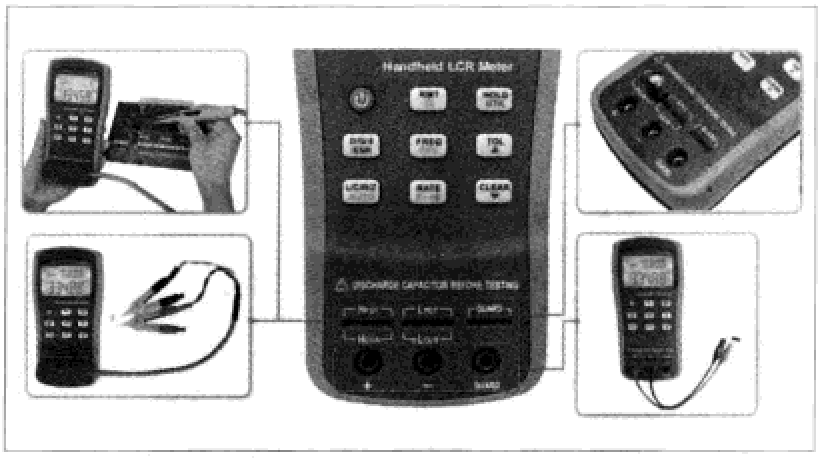


图1 TH2822C提供了SMD测试钳、测试夹、橡胶插头鳄鱼夹等不同测试附件，也可将元件直接插入机身下方的测试槽中进行测量。

精度高，适应性好

我们用同惠TH2822C手持式LCR数字电桥对一块实验用的小电路板进行了实际测试，比如有一个电容标称值是1μF，而实际测得的数值为1.1168μF，在这一个器件上，就有了近12%的误差，我们必须调整电路的相应的参数。经过调整，试验电路的数据就更准确，与理论计算的误差就更小，有时候电路的误差几乎接近0了。TH2822C可以在最高100kHz的测试频率，达到0.25%的基本测量准确度，具有40000字的主参数读数，副参数D/Q为0.0001的读数分辨力，使之可以应用于精确的损耗测量，使手持式LCR数字电桥也能测量诸如金属化、云母、NPO（COG）陶瓷等低损耗低ESR电容。该电桥还提供类似台式仪器的快速测试响应，最高达4次/秒。我们测量LCR，主要从测量准确度、测量频率、测量电平和输出阻抗等几个方面来选择测量设备。传统的手持式LCR测试仪和老式的台式LCR测试仪，量程变化时，其信号源内阻也随之变化；当测量一些电平依赖性比较强的元件时，不同仪器会产生不同的结果，会有比较大的误差。比如电感元件的电感量有时随测试电流的改变而变化，高Q值的陶瓷电容的容量有时随测试电压的变化而变化，信号源内阻的变化也会造成测试结果的不一致。业界流行的台式LCR测试仪均采用恒定的100Ω信号源内阻。TH2822系列也在手持式LCR表上实现了恒定的100Ω源内阻。这样，无论是普通元件还是电平敏感元件，其

附表 同惠TH2822C手持式LCR数字电桥的技术参数

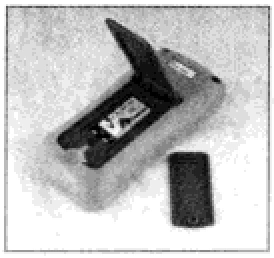
LCR测量参数	主参数：L/C/R/Z、副参数：D/Q/θ/ESR
测试频率	100Hz,120Hz,1kHz
测试电平范围	0.6Vrms
输出阻抗	100 Ω
基本准确度	0.25%
测量速度或测试时间	4次/秒、1.5次/秒
等效电路	串联方式，并联方式
量程方式	自动，保持
清零功能	开路／短路
比较器功能	1%、5%、10%
接口	Mini-USB(虚拟串口)
显示范围 C、L、D、Q、θ(DEG) Z/R、ESR	0.0pF ~20.000mF、0.0μH ~ 1000.0H 0.0000 ~ 9.999、0.0000 ~ 9999 -180° ~ +180° 0.0000Ω~10.000MΩ、0.0000Ω~999.9Ω
显示器	LCD 主、副参数双显示
测试端	三端、五端
读数	主参数最大读数40000字， 副参数D/Q/θ最小分辨率0.0001

测试结果均是可信及可比对的。

对于不同的被测器件的实际应用、不同的被测器件的产品标准和不同的客户需求，同惠TH2822C手持式LCR数字电桥均有很好的适应性，对于测试电压和频率的选择比较灵活。当对小于100pF电容进行测量时，可以选用100kHz频率进行测试；当对于中等电容如1000pF~10μF电容进行测量时，可选用1kHz或10kHz频率进行测量，标准中规定测试中等电容的测试频率标准是1kHz，而对于电解类如铝电解、钽电解进行测量时，应选用100Hz或120Hz频率进行测量。同惠TH2822C的最高测试信号频率为100kHz，这样，就能够满足大部分电容的测量，大部分电容对电平的选择并不敏感，不同电平测试变化不大，但是有些介电常数较大的电容对电平却比较敏感，应仔细选择测试电平。

长时间使用或外出携带均方便

同惠TH2822C像一块万用表一样，适合在各种环境中配备，方便、快捷地进行LCR基本参数的测量。它的高速测量性能及0.25%的准确度，解决了许多场合快速便携测量的需求，比如现场维修测试、外携测量、生产线定点或流动检验、电子元件出入库检验、实时抽检批检等，即便是在野外测量也十分方便。它比台式机具有更高的性价比优势，能够成为相关测试人员的必备工具，满足高速生产的要求，当然也适合维修作业和院校实验教学的需要，适用性非常广。TH2822C内置了可充电电池，由于功耗很低，可连续工作时间长达16小时，电池续航时间比同类产品的电池续航时间长一倍的工作电流，很适合长时间测量或携带外出使用。



TH2822C内置了可充电电池，并可自动切换内部电池、外部电源供电（外部电源优先）。

可与PC互联，形成测试数据采集平台

同惠TH2822C提供了USB接口，可以如同手机和数码产品一样，很方便地与计算机相连，为数据传输提供了方便的渠道。TH2822C具有自动测试数据发送功能，也可用SCPI指令集实现交互控制。用户可以使用FastAccess PC通信软件把TH2822C与PC联机，将TH2822C模拟为串口设备，进行仪器控制、数据采集和统计分析，随时随地建立起测试数据采集平台。这些功能对于这样一款小巧的手持式设备来说是难能可贵的。

TH2822C可与PC联机，进行远程控制，或采集测试结果。

便于自动识别和测量贴片元件

现在的电路板上几乎都是贴片（SMD）元件，同惠TH2822C配备了TH26009C和TH26029C四端开尔文测试钳，满足了SMD测试的不同需求。

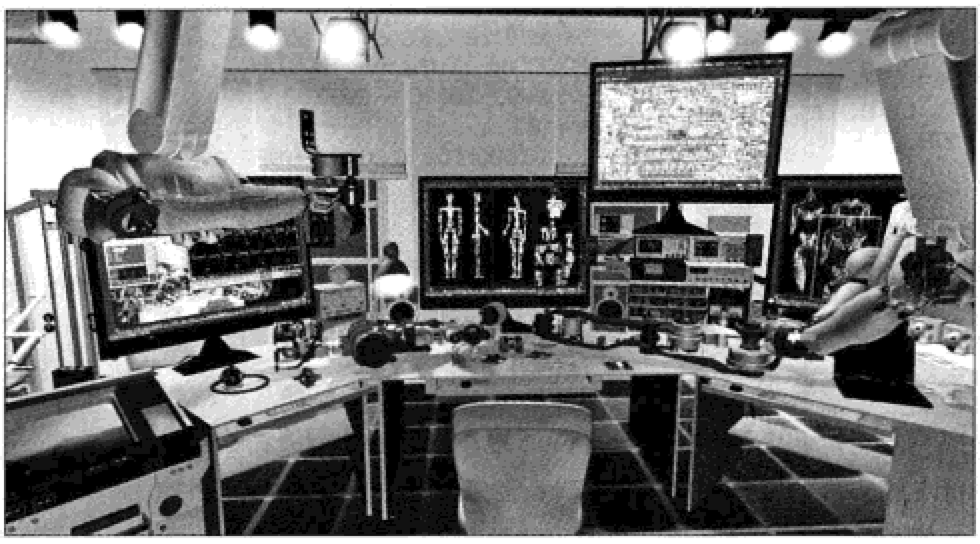
对于非专业人员来说，很难从外观上区分贴片电感、电阻、电容元件，使用TH2822C的自动LCR功能可轻松辨别被测元件并即时获得测量结果。你只需按下LCR AUTO键，仪器便会根据被测元件性质自动选择合适的测量参数组合和串、并联等效模式。这对操作人员检测多种不同元件、对SMD混杂元件分类、元件上料或入库前的查错等都是非常有价值的。

可以说同惠TH2822C可以满足绝大部分用户的需求。它带有标准接口，可根据被测值的准确度对被测元件进行自动分挡；也可直接连接到自动测试系统，用于元件生产线上对产品的自动检验，以实现生产过程的质量控制。TH2822C可选择多种测量参数和串、并联等效方式，非常适合专业测量。

SMD测试钳配可以很准确地夹住细小的贴片元件，配合自动测试功能，任何人都能识别和测量贴片元件。

晒晒我的实验室/工作室

◎刘天龙



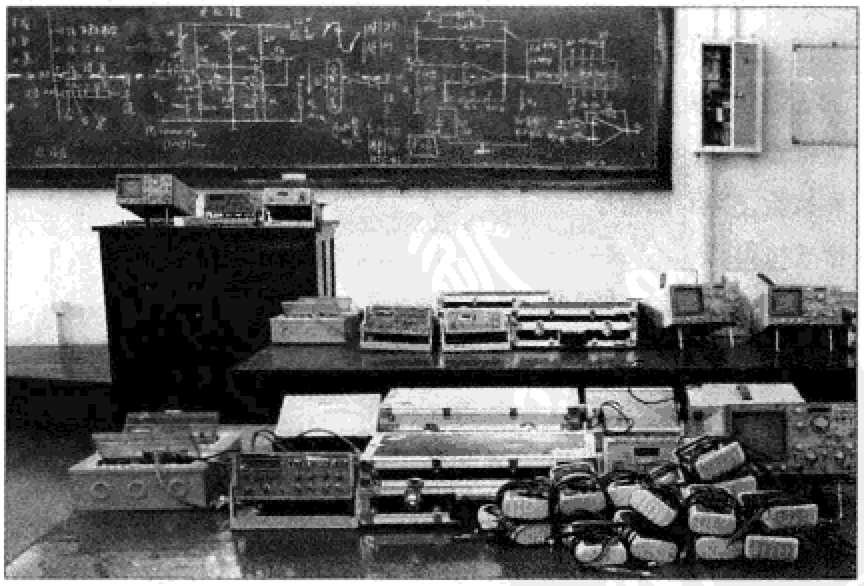
实验室里的幸福生活

我是一个爱好广泛的人，喜欢电子技术、机器人、航模、计算机编程、电脑艺术、军事等。应杂志社之邀，我为大家晒晒我的大学实验室，也与大家分享一下我大学的电子爱好时光。

如果要问，大学留给我最好回忆的地方是哪里？我会说，不是月下花前，不是虚拟世界，而是——实验室，我和伙伴们在这里度过了从大二到大四的精彩时光。

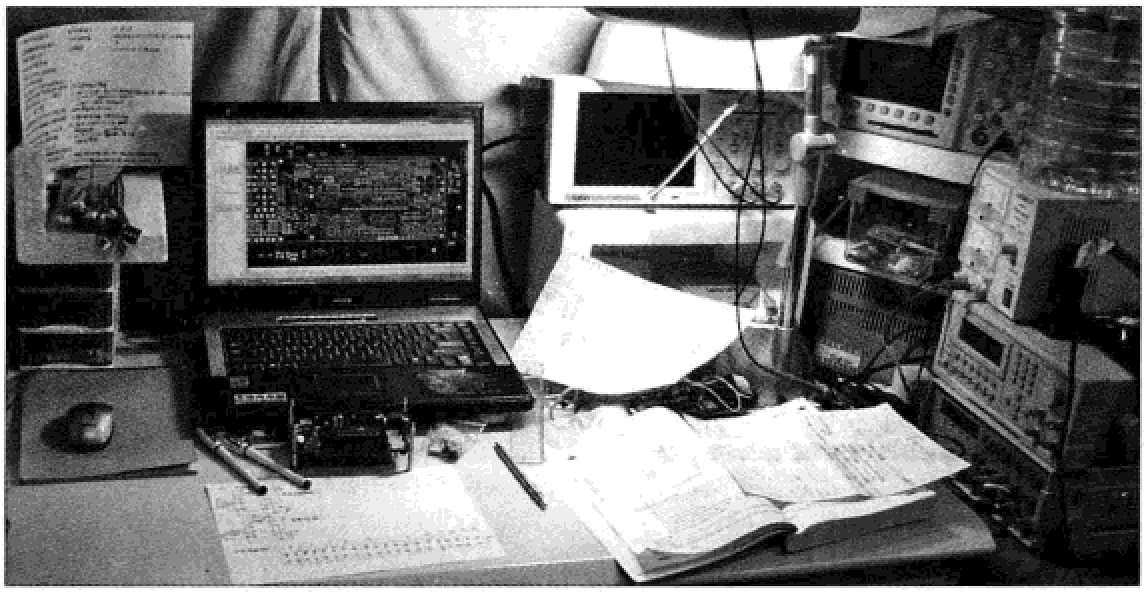
1 柳暗花明

大二伊始，我认识了同学曹明，我俩热爱电子技术，想参加全国大学生电子设计大赛，一试身手。参赛首先要报名，我们周围没有学长指导，讲课的老师也不了解。原本羞涩的我们硬着头皮从学校机电楼顶层开始挨个实验室敲门，见人就问“请问老师，在这儿能否报名参加电子大赛？”，得到的回答都是“不太清楚……”。就这样一路冷遇，直到我俩走进模电实验室，看见于德水老师。我们说想报名参赛，于老师犹豫了一下，问我们会什么。好在以前学过电子技术，我说出了一二。老师拿出上届参赛学生做的超声波测距仪给我们看，他说比赛要求很高，我们年级太低，必须下大功夫。看着学长制作的超声波测距仪，我们眼睛放光——咱以后也能做出这样的东西吗？



大学里的模电实验室，虽然简陋，但却是我们的起点

2 自力更生



我的实验台，虽然是个小角落，对我而言却是大天地

实用的LED放大镜台灯

我们的模电实验室很大，中间有一行储物柜将其分成两部分，前半部分给学生们上实验课用，在立柜后面有几个小桌，这是属于我们的实验台。于老师喜欢爱动手的学生，他打开储物柜说："里面的东西你们随便用！"，柜里有很多晶体管、电阻、电容、螺丝刀、老虎钳等，这些元件、工具为我们的电子设计与制作提供了大量帮助。

我们在这个实验室里自学单片机、尝试制作PCB，在那里，我完成了我的第一块PCB——51单片机最小系统。当时，由于没经验，也为了省钱，我采用的是单面板，焊接时焊盘经常掉落。尽管如此，这个电路板处女作仍让我爱不释手，在后来的两年中发挥了巨大作用，为我后来完成单片机控制的智能车打下了牢固的基础。曹明研究液晶显示器编程遇到很大困难，后来我们一起逐条分析程序，费了老大劲儿后，液晶屏上终于显示出一行文字："不抛弃，不放弃！"。

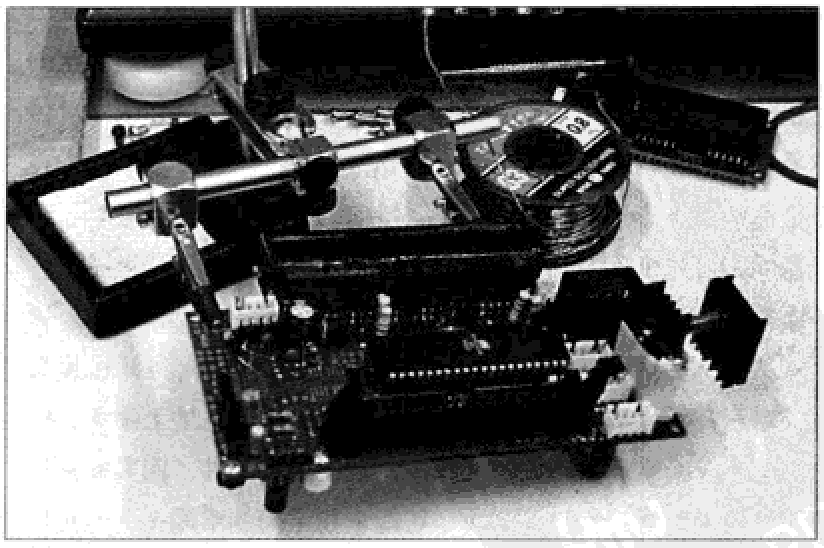
偌大的模电实验室里，我的实验台只占一张小桌子，虽是个小角落，对我而言却是大天地。桌上有自己购置的60MHz OWON数字示波器、学校的2GHz泰克数字示波器、15V/2A直流稳压电源、数字信号发生器。实验室有很多电烙铁和万用表，但质量不太好，我只用自己购置的胜利97自适应万用表和电烙铁。当然，电脑和单片机下载线也是我必不可少的工具。

电子制作有时细致如绣花，有个明亮的台灯才能保护眼睛；身边放一瓶水，能时刻提醒自己补充水分；把元件引脚沾一点松香膏再焊接会很顺畅。这都是我的制作小体会。

一手拿着焊丝，一手拿着烙铁去焊元件，结果电路板被顶得满桌子"乱跑"，这是很多人在制作过程中的不爽经历。买个焊接助手吧，用小夹子固定住电路板，焊接会变得很舒心。有时元件被烙铁顶得乱动，焊得歪歪扭扭，那就先用绝缘胶带在反面将元件粘住，它们就不会调皮捣乱了。

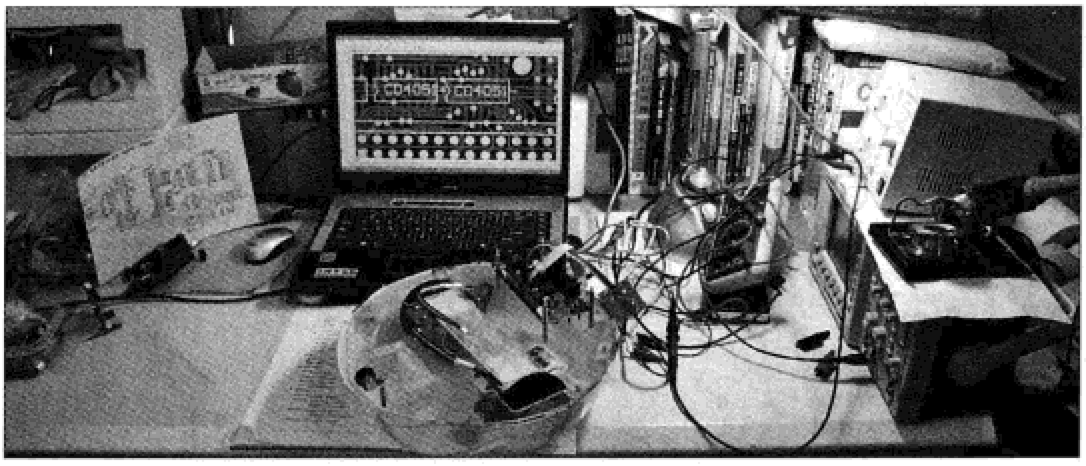
电子元件浩如星海，有的小如芝麻，把它们弄乱了再找起来是个大麻烦。到超市买一些小抽屉，分类存放，可以把实验台整理得井井有条，不仅能提高效率，更能保持好心情。

再说一个小插曲：曹明有一次做三极管实验，突然一声爆响，三极管炸成两半，曹明吓得跳起来。他用的数显稳压电源没有电流指示，电流过大时没有及时发现。他说，爆炸前曾看到电路板上一条走线发出红光！我的稳压电源有指针式电流表，看到指针大幅偏转时我能及时断电，从未烧毁过任何元件。因此，配备一台既有电压指示又有电流指示的稳压电源对于顺利完成电子实验很重要！

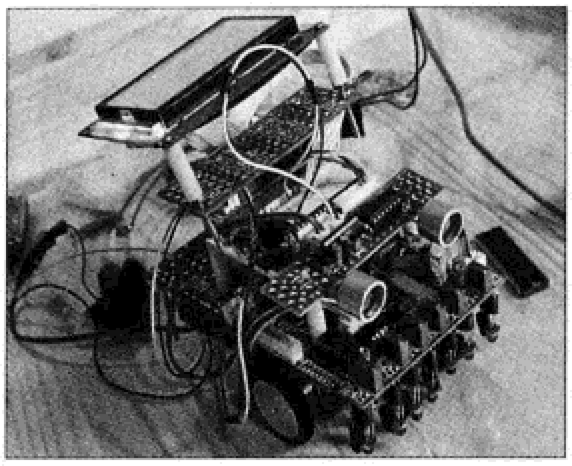


焊接助手

3 坚持不懈



测试吸尘器电路板



我们在实验室制作的智能小车

新学期开始了，上课点名时我却无影无踪。原来我和曹明，还有一位学长颜建清，在实验室里正为全国大学生电子设计大赛而奋斗。我们参赛的项目是制作一个“在跷跷板上找平衡的智能小车”，比赛要求智能车沿着跷跷板中间的黑线走到平衡位置自动找平衡，使跷跷板倾斜角度控制在2°以内。学长负责写论文，我和曹明负责制作，参赛的前一天还在调试A/D转换程序的我感到压力巨大。于老师说，要想获胜，必须能吃苦。我们决定在实验室彻夜奋斗，我把自己所有的零件都搬到了实验室，整整摆满一大桌。

比赛的4天中，我们先花了1天时间把车体做完，接下来我负责检测车倾角和进行巡线部分的研制，曹明负责液晶屏显示的编程。窗外的天空逐渐暗下去，屋里的日光灯亮起来，两个身影在忙碌着。晚上11点学校熄灯，实验室的灯也灭了，在200m²漆黑的实验室里，只有两盏台灯照亮着两片小区域，一个人在电脑前编程，眼镜片折射出显示器的光芒，另一个人在焊接电路板，一缕缕青烟袅袅升起。宁静之中突然听到“嘶”一声，随即飘来一阵烧焦味，仔细看，居然是一只蚊子撞到挥舞的电烙铁上。夜已深，困倦阵阵袭来，我用电脑播放“士兵突击”，在豪迈坚定的主题歌伴奏下，我的A/D转换程序终于能让液晶屏上显示出角度传感器值了。听着歌声，我心情很激动，感觉自己像一名战士走在长征途中，不论千难万险，只要坚持信念走下去，就会成功。不经意间，目光余晖中的窗外天空由暗紫变成绯红，再慢慢变蓝，一缕柔和的阳光斜射向实验台，一整夜就这样在眼前溜掉了。

人要是72小时不睡觉是什么感觉？头脑发胀，身体极度疲惫，意识开始发散，思维变得迟钝，随时可能倒在地上睡着。比赛的第三天，智能车方案需要修改，我上街买零件，回实验室后曹明乐滋滋地告诉我，他解决了智能车找平衡的难题——他用焊锡铸造了一个“秤砣”，用一杆秤放在车上找平衡。随后曹明的语言越来越少，声音越来越轻。到了深夜，他的动作变得如同电影里慢镜头一样慢，实在坚持不住了，他头枕着书包在椅子上睡着了。

于老师看我们两人筋疲力尽的样子，拿起锯子开始帮我们做标志线板。我们参加这次比赛的技术积淀太少了，直到第四天仍没能解决好小车如何自动找平衡，留下了遗憾。比赛时我们看到有一个队实现了找平衡，他们用齿轮变速机构放大了重锤偏转角，然后用角度传感器检测这个放大后的角度，由两台精确的步进电机驱动小车前后移动，使之停在平衡位置（注：由此笔者也获得一个经验，机器人是机电一体化的产物，只研究电子不行，没学过机械就想不到用齿轮机构放大转角）。深夜的实验室里，回荡着“士兵突击”的音乐，在坚持与放弃的抉择中我选择了坚持。第二天早上，于老师开车送我们去交作品，我的心情已经平静，我们尽了力了，不论比赛结果如何，这都是一次难得的人生体验。

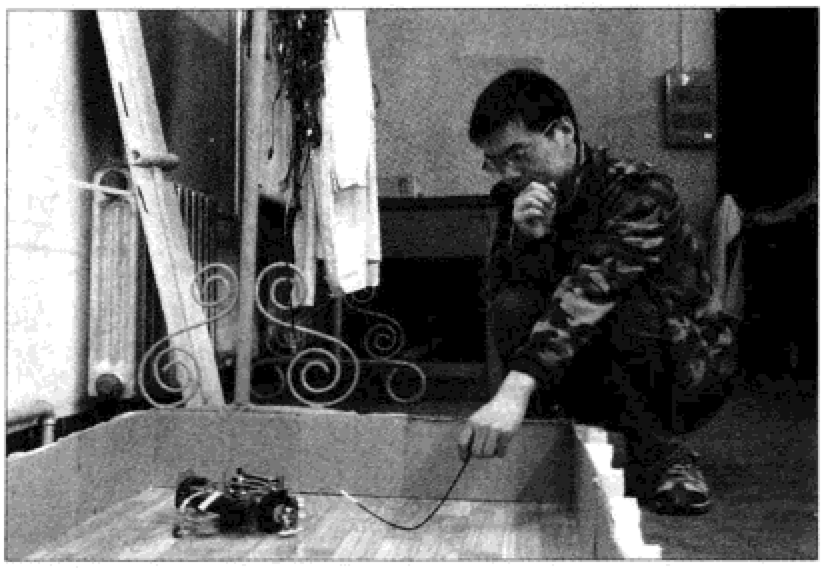
4 最后冲刺

时光如流水，我们开始在实验室做毕业设计。我们自主命题，我做智能吸尘器，曹明做智能温控器，另一个同学吴广鑫做ARM超声波测距仪。我要在3个月内完成设计构想、计算机仿真、实体制作、综合调试与写论文。为了提高效率，我干脆住在了实验室里。拼几把椅子，挪几个箱子，铺上薄垫子，头枕书包就能伴着我的毕业设计睡觉了。

每天实验室熄灯后，我打开吸蚊灯，在朦胧的蓝色光辉中，各种仪器的指示灯交替闪烁、复杂的波形在显示屏上跳动着，感

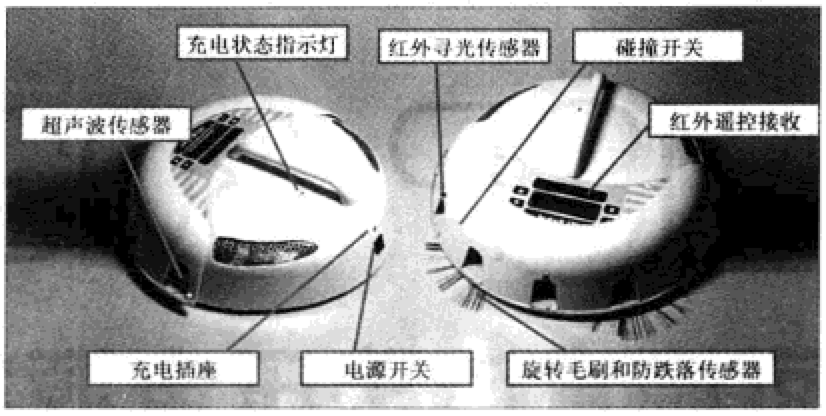
觉像置身于科幻世界中，在追求技术的路途上呼吸着艺术的气息，此情此景让我感到很幸福。实验室是我们的天堂，我们在这里自由探索和畅想。

后来，我的项目进入艰苦的调试阶段。我用泡沫板做了一个吸尘机器人测试区，每天给机器人编程，把它放到区域里测试，观察它能否依靠超声波探测器避开障碍物，用秒表记录它沿Z型路线走完试验区域的时间，修改程序再测试，如此重复，直到效果令人满意。我感到自己像一个牧羊人，机器人是我的羊，单调、枯燥被我渴望成功的心压制，这样日复一日直到成功。



“牧羊人”

实验室里科幻的色彩



我做的智能吸尘器

5 友谊最珍贵，技术最实用

我们获得了哈尔滨理工大学2%的校级优秀论文荣誉，于老师请我们吃饭。在实验室度过的两年我们最大的收获是什么？是我们和于老师结下的友谊，我们有共同的爱好，有共同的追求，我们在一起奋斗，共担艰辛，分享快乐，也是我们在实验室里获得的实战技术。一些人的大学时光在自习室度过，很多人的时光留在密林池畔，还有人在虚幻世界里挥霍青春。我们在实验室里，或许没有蜜语甜言，没有游戏的刺激，可是我们的生活并非单调、乏味，在那里练就的一身“硬功”是雄厚的资本，会是我们为新起点而忙碌的优势。

6 我梦中的实验室

我的实验室　沸腾的梦想　先进　宁静　高效　繁星璀璨的电路板　光芒四射的精密机械　思考者机[illegible]人　演化的蚂蚁社会　内存里的池塘　俯瞰云海的无人机　深蓝世界里的漂流瓶　赛博空间的橡皮泥　电[illegible]……

这里[illegible]轰鸣　这里的灯光[illegible]　电波在[illegible]

MSP-3031/3033

可调直流稳压电源实测

◎《无线电》测试室

可调直流稳压电源广泛应用在产品开发、生产维修、教学实验等场合，也是技术型无线电爱好者必备的仪器。可调直流稳压电源可以将220V交流市电转换为稳定的低压直流电，供电子产品直接使用。笔记本电脑和手机以及数码产品的电源适配器（也被称为充电器）实质上都是直流稳压电源，仪器级的直流稳压电源能输出可调的电压、电流，可以实效模拟各种应用级直流稳压电源，同时可以方便地通过电源自带的电压/电流表实时监视供电状况。本次有幸得到米尼帕品牌的两台可调直流稳压电源MSP-3031和MSP-3033试用，下面谈谈我的使用感受。

本次试用的米尼帕MSP-3031为0～32V/0～3A单路输出可调直流稳压电源，适合各种基础型试验和维修等简单应用。MSP-3033则具有2+1路输出，其中两路为0～32V/0～3A可调输出，一路为5V/3A固定输出，适用于各种数字电路开发实验等高端应用。在不少有单片机的电路板设计中会用到12V和5V双电源输入的情况，这就需要多路稳压电源了。

多路输出的MSP-3033设计构架与MSP-3031基本相同，主要区别就是可以提供更多的输出，并能提供更高精度的调节。作为2+1路输出的MSP-3033并不是简单地相当于两台单路输出的MSP-3031叠加，MSP-3033的两路可调输出除了可以相互独立工作外，最大的特点是可以串联跟踪输出或并联跟踪输出，这也是大部分双路可调稳压电源的特有功能。所谓串联跟踪是将两路输出串联在一起，得到更高的输出电压，这时电源输出受CH1主控，输出电压可达单路输出的两倍。所谓并联跟踪是将两路输出并联在一起，获得更大的输出电流，这时电源输出受CH1主控，输出电流可达单路输出的两倍。

相比MSP-3033，对于普通电子应用，单路输出的MSP-3031稳压电源性价比更高，所以我们偏重于对MSP-3031的试用和介绍。

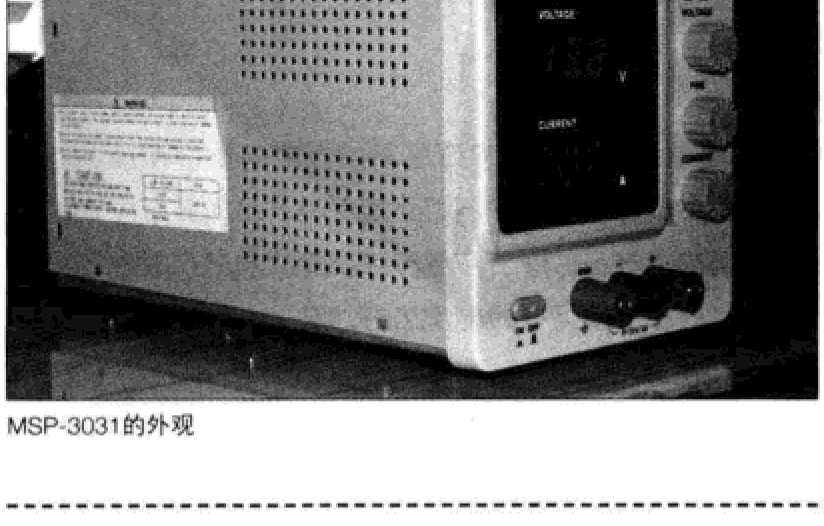
外观与设计

MSP-3031外观采用传统四方形面板、中规中矩的立式机箱，外壳大小为160mm×140mm×260mm，机箱顶部设计有一个提手，方便仪器的搬运。如果有仪器叠放的需要，通过卸下提手两边的螺丝就能快速卸下提手。MSP-3031虽然是最高32V/3A输出的小型电源，但你拿到手里就会感觉到整机颇有分量，有5kg重，不像一些廉价货轻飘飘的，而MSP-3033更重达10kg。

MSP-3031除了面板是塑料以外，整机外壳都采用金属材料，金属板有一定厚度，所以整体刚性很好。机器后部并非像老式稳压电源那样采用大型散热器半外露自然散热的样式，而是采用内置散热器外加风扇辅助散热的方式。这种方式一方面通过风扇抽气，可以大大改善机箱内空气流动状况，提升散热效率，另一方面可以节省铝散热片的面积。MSP-3031采用一个70mm×70mm风扇以温控方式工作，当内部散热片温度达到65℃时自动运转，所以在大部分情况下电源工作十分安静，但风扇一旦启动，我们还是可以听到明显的气流声。相比市面上有些知名品牌的电源一开机风扇就全速工作的设计，MSP-3031的这个设计要好得多。当然，如果风扇是随温度变化而变速工作的，则更为理想。

MSP-3031电压和电流都采用3位红色LED数字表头指示，由于LED的8字数码管是自发光的，所以无论在白天还是夜间都有很清晰的显示，而且可视角度很大。通过右上角的指示灯可以指示机器工作状态是恒压模式还是恒流模式，如果用户设置在恒压模式下使用（稳压输出），红色的恒流状态指示灯亮起，则意味着电源处于过流输出状态。

MSP-3031 的输出电压和电流都通过电位器连续可调，电压调节范围为 0 ~ 32V ，电流输出范围为 0 ~ 3A。为了提高电压调节的精准度，MSP-3031 采用了粗调和细调双电位器搭配的方案，通过一个大阻值和一个小阻值可调电位器的串联使用，有利于电压的精细调节。由于使用性能更好的多圈电位器成本高昂，所以业内很多产品都采用这种折中的调节方案。实际使用中，MSP-3031 通过粗调、细调配合，对电压进行 0.1V 步进的精细设定完全没有问题。同时，这也突显了数字电压表的读数和分辨率优势，要是使用指针电压表，那 0.1V 的变化就很难准确读出了。更高级的MSP-3033则直接使用多圈电位器(10圈)提供精密调节。



MSP-3031的外观

MSP-3031设有总电源开关，直接控制220V输入。经拆机观察，MSP-3031的电源开关可同时切断火线和零线，即便墙面插座或者拖线板的线序错误也无妨。机械按键开关可以使机器完全与市电断开，不存在待机耗电的问题，长期不使用也无需拔下电源线。

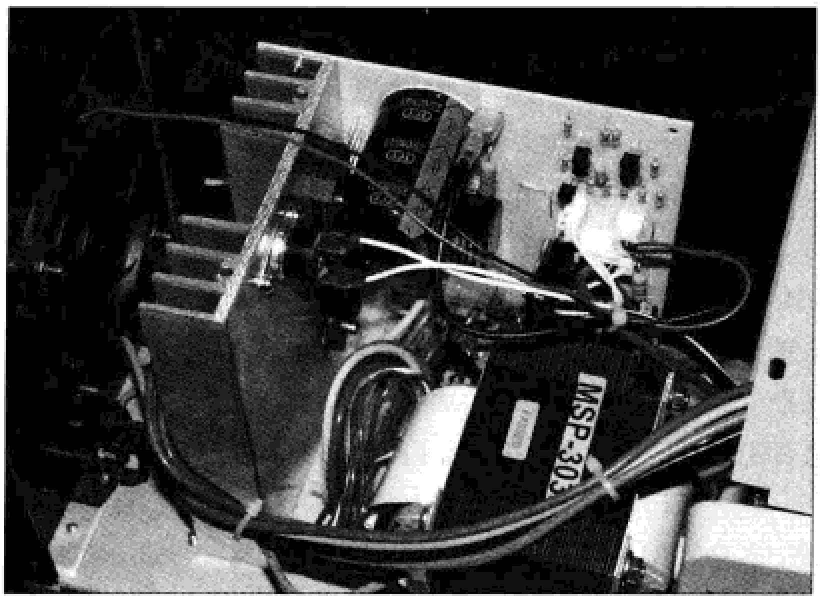
MSP-3031没有设计低压电源输出控制开关，而MSP-3033却有这样的设计。低压电源输出控制开关可以在电源开启的状态下关闭输出，有效防止输出电源线的鳄鱼夹在接线操作或待机备用状态下意外短路的情况。

MSP-3031市电电源线采用台式计算机那样的标准电源线插座，方便用户随意搭配各种长度和插头标准的电源线， MSP-3031随机提供的是一条中国国标三眼插头的1.7m电源线。在机器的后部有一个220V和115V电压系统切换开关，用于选择变压器初级的抽头组合，以适应不同供电电压国家及地区的需要。MSP-3031提供一组共3个低压接线柱，接线柱可以直接缠绕电线或Y型接线端子并可使用香蕉插头，MSP-3031随机提供的红、黑鳄鱼夹线采用的就是支持级联扩展的香蕉插头。

内部设计一览

MSP-3031和MSP-3033采用传统使用变压器的线性电路，结构简单，技术成熟，直流输出纹波容易控制。按照MSP-3031官方提供的数据，其纹波在恒流模式下仅为1mV。尽管现在开关电源技术不断发展，但为了得到很低的纹波，很多世界顶级品牌的直流稳压电源都还保留使用传统线性电路的系列产品。制造电源的业内人士都知道，开关电源讲究技术和用料，而传统线性电源在技术上早就已经非常成熟，电源基础性能主要看用料的成本投入。市场上很多劣质电源都由于死拼价格而偷工减料。

笔者一直认为，好东西是不怕看内部线路和做工的。虽然仪器的做工并不能必然反映产品的实际性能，但至少从产品的做工和用料可以看出制造厂家对产品制造的态度和拥有的制作工艺，从一个侧面也反映出一个品牌厂家的形象。工艺精湛、用料扎实



MSP-3031的内部结构

的产品一般不会差到哪里去。

作为线性电源的心脏，MSP-3031采用的变压器个头不小，包括硅钢片和浸漆等制作工艺都不错。变压器次级有多个电压抽头，因为MSP-3031可调电压范围比较大，为了减少低电压输出状态下在电路调整管上的压差耗散功率，电源设计了分段供电的方式，即在不同输出电压区段选择不同的变压器抽头电压供电。这项设计无疑对降低功耗和热量都有很大的好处，用户在调高电源输出电压时会听到继电器跳动的声音就来源于此。MSP-3033由于总功率比较大，所以直接使用了称为“环牛”的环形变压器。

MSP-3031的主滤波电容采用一枚63V/6800μF国产铝电解电容，对于小电流电源完全够用。MSP-3031的主散热板位于机器的后部，散热片大小为140mm×95mm，翼高20mm，体积不小。发热“大户”整流全桥和调整管都安装在散热片上，此外还有控制风扇启停的温控继电器。整体主板设计还算不错，只是滤波大电容略靠近了散热片热源一些。MSP-3031面板的两个数字表头电路是由厂家自己设计PCB制作的，并非使用半成品表头拼凑而成，在一定程度上也显示了厂家的设计能力。MSP-3031的主板上所有引线都采用标准接插件连接，对日后的维修带来了莫大的方便。

总的来说，MSP-3031的做工和用料在国货中档产品中还算不错的。

总功率更高的MSP-3033采用了更大的散热片和风扇，散热片大小达到240mm×95mm，翼高20mm，风扇口径也提高到120mm×120mm。

实战测试

MSP-3031 的使用非常简单，开机后默认工作在稳压状态，通过面板右侧的电压粗调和细调旋钮，配合数字电压表读数，就能轻松准确地设定工作电压，电源数字电压表显示分辨率为 0.1V。

1. 测试输出端口电压

在空载和负载状态下，我们用经过计量的FLUKE 187万用表对比测量输出端口电压。结果显示，MSP-3031自带电压表与F187的读数相对误差在0.1V以内。

此项测试是为了验证电源自带电压表的准确度。我们在实际使用中一般都会相信电源自身电压表的读数，优质的电源都会使用误差较小的高品质表头，尽管这样成本会高一些。MSP-3031的电压表是厂家自行制作的，通过对比可见，其表头准确度在出厂时校准得还是不错的。

2. 测试电压跌落情况

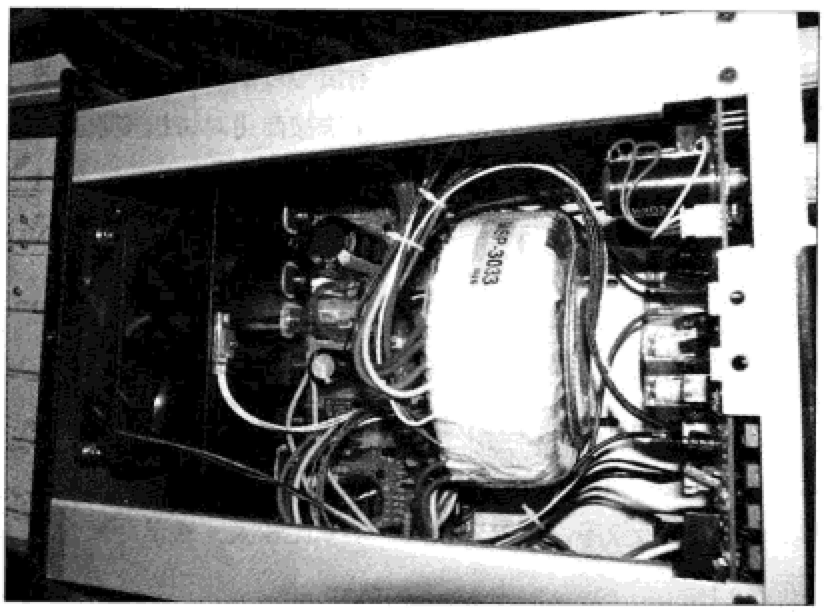
我们测试了MSP-3031电源在满负荷3A电流输出情况下电压跌落的情况。通过F187万用表的监测，MSP-3031电压跌落不到0.01V，通过电源自带电压表无法察觉。

在重负载情况下，稳压电源的输出电压跌落水平是衡量电源稳压特性的重要指标，与稳压电源的电路设计和容量设计密切相关。有些虚标最大输出电流的电源，在满负荷输出的情况下电压下跌厉害。优质电源为了保证输出指标和产品整体稳定性，在容量设计上总是留有不少余量。此项测试证明，MSP-3031在额定满负荷输出情况下工作依然游刃有余。

3. 8小时高负载实验

我们进行了8小时高负载实验，使电源以最高额定电流连续输出。尽管在测试进行不久，电源的内置风扇就开始工作，测试经过1个多小时后，电源外壳也有一定温度升高，但MSP-3031电源依然顽强地撑过了8小时。

笔者一直认为，好东西是不怕看内部线路和做工的。虽然仪器的做工并不能必然反映产品的实际性能，但至少从产品的做工和用料可以看出制造厂家对产品制造的态度和拥有的制作工艺，从一个侧面也反映出一个品牌厂家的形象。


MSP-3033内部使用的环形变压器

重负载实验是对电源负载能力和容量设计的终极测试。对于一些偷工减料的电源，长时间的重负载测试会使其发热严重，轻则电源自动过热保护，严重的会直接损毁电源，而对于那些设计余量大、用料扎实的电源则会表现出稳如磐石的一面。

由于MSP-3031并不是定位于高端、高稳定度的精密电源，所以我们并没有测试其输出电压稳定度（漂移）。

使用建议

MSP-3031能以恒流方式输出。用户人为短路输出时，电源电流表显示出恒流的电流数值，并可以通过电流调节旋钮加以设定，电源数字电流表的显示分辨率为0.01A。一般用到恒流模式的机会比较少，不过该功能在常用的恒压（稳压）输出模式下可以起到设定过流保护的作用，以保护用电电路和电源自身。预估实际工作需要的最大电流并略加余量，然后以设定恒流的方式设定电源最大输出电流，这样在实际使用中，如果遇到意外短路或者电路异常，电源就能限制输出电流，将可能造成的损害降低到最小。这种用法对于教学实验、电子产品维修、产品开发实验电路特别有用，能有效防止电流输出过大而烧毁元器件。

总的来说，MSP-3031是设计和定位于中档的可调直流稳压电源，实际电源的设计、做工、用料、性能也符合产品定位。较广的电压可调范围和较大的电流输出范围是这款产品较市场同类产品的优势，厂家更有输出电流最高达5A的型号MSP-3051，可以广泛应用在笔记本电脑维修、移动电话和手持对讲机维修、大中院校实验室教学、中小公司实验室。2+1路输出的MSP-3033提供了更多的输出和更好的调节性能，适合高级应用。

◎聆听

详解 公众对讲机

我国公众对讲机定义为发射功率不大于0.5W、工作于指定频率的无线对讲机，其无线电发射频率、功率等射频技术指标必须符合国家相关要求，产品需要取得国家型号核准代码。

无线对讲机是一种传统的无线电通信工具，比大家熟悉的移动电话手机和寻呼机的历史悠久得多。早期的对讲机多用于军方，随着科技的发展和大众无线通信需求的增长，对讲机渐渐进入民用移动通信领域。尽管现在移动电话网络已经十分发达，无线局域网也突飞猛进，寻呼机早已被淘汰，但对讲机依然是无线通信市场上的常青树，它不仅没有萎缩，反而开花散叶，进入国民经济的各个领域。

对讲机不但成为各个企事业单位安保工作的必备装备，而且小区物业、餐厅服务和商场保洁等人员也大量使用。究其深受用户欢迎的原因是，对讲机具有一呼百应的“天性”和操作简单的特点。一个频道里，在有效通信范围内，一个对讲机讲话，其他相同频率的对讲机都能听到，而且只要按下、放开PTT通话键就完成了操作，远比移动电话一个一个地拨号方便、高效得多。尽管移动电话也有三方通话和多方通话功能，但效果和迅捷程度都远不及对讲机。

认识公众对讲机

无线对讲机是小型无线电台的一种别称，按照使用的对象，传统上习惯分为军用对讲机和民用对讲机，不同用途的对讲机性能和指标要求是不一样的。对讲机属于无线电台，所以在过去，民用对讲机是被严格管理的，所有民用无线电发射设备由各级无线电管理委员会进行规划和管理（现在改制为无线电管理局），与个人使用无缘。近年来，为满足社会公众对使用民用低功率无线对讲机的需求，国家工信部于2001年下发了“关于公众对讲机管理有关问题的通知”，开放了具有中国特色的409MHz公众

频段，并制定了公众对讲机的生产和使用规范，使得对讲机也有机会成为个人的通信工具。

我国公众对讲机定义为发射功率不大于0.5W、工作于指定频率的无线对讲机，其无线电发射频率 、功率等射频技术指标必须符合国家相关要求，产品需要取得国家型号核准代码。在发射功率和典型通信距离上，与国际上同类产品FRS（Family Radio Service）对讲机相当，可谓是与国际接轨。

国际上各国和地区开放的用于私人短距离通信的具体频率不尽相同，我国公众对讲机使用的工作频率为409.750~409.9875MHz的依次间隔12.5kHz的20个频道，与欧美国家FRS对讲机所用的460MHz频段的 14个频点不同。

在产品技术要求方面，公众对讲机采用常规对讲机常用的F3E调频调制。为了节省频谱占用，公众对讲机采用先进的12.5kHz间隔标准，这也是以后商用对讲机将推荐执行的标准。目前，商用对讲机多使用25kHz标准，所以很多商用机将频率设置到公众对讲机频段，如果没有改用12.5kHz模式，依然采用25kHz模式，会出现对讲机接收过调制、声音容易断续的问题。同时，商用机采用25kHz模式工作，在公众对讲机频段由于占用带宽较宽，会干扰12.5kHz间隔系统的相邻信道。公众对讲机射频电路比较简单，而且输出功率小，所以国家规定的发射机杂散辐射要求比一般商用对讲机低一些，通常<50μW。

有的朋友用商用对讲机或者业余电台对讲机设置公众对讲机专用频段的频率，不办理电台执照，就进行实效通信，严格意义上讲，这种行为是违规的。公众波段使用的合法对讲机是按照相关规定生产的专用对讲机，并需要取得国家型号核准。

由于商用对讲机输出功率大，一般都有3~5W，很多用户想以此增加通信距离。当商用对讲机与公众对讲机一起使用时，由于两者功率相差悬殊，所以在较远距离通信时容易出现单向通信的问题，即功率较大的商用对讲机发射信号可以被公众对讲机收到，但小功率的公众对讲机发射信号无法被商用对讲机接收，这样依然不能完成有效沟通。

小巧的T4508对讲机

摩托罗拉TLKR-T5

公众对讲机并不等同于广义的民用对讲机，严格说，应该是民用对讲机的一个种类。

◆ 不同于国外的CB市民波段

根据公众对讲机的特性，它与一些国家和地区开通的CB市民波段（CITIZEN BAND）对讲机不同，CB波段的对讲机一般使用较低的27MHz频率，机器比较大，功率比较大，通信距离也比较远。

◆ 不同于业余电台

公众对讲机更不同于业余电台，业余电台的发射功率和通信范围更接近商用电台，而且使用业余电台必须参加国家有关业余电台的操作证书考试，并办理电台执照，手续比使用公众对讲机繁琐得多。如果将公众对讲机比作自行车的话，那么业余电台就是机动车，上路以前必须先考驾照，再通过验车和上牌照。

有的使用者用商用对讲机或者业余电台对讲机设置公众对讲机专用频段的频率，不办理电台执照就进行实效通信，这种行为严格意义上讲是违规的。公众波段使用的合法对讲机是按照相关规定生产的专用对讲机。

按照国际惯例，为了方便使用者使用，公众对讲机享有很多豁免权，包括用户无需通过无线电管理机构的检测、无需办理电台执照、不用缴纳频率使用费。简单而言，公众对讲机可以像移动电话一样，买到手即用，不用办理任何电台设台手续，不用缴纳任何使用费。

市场上有相当一部分的公众对讲机外观看上去比较卡通，价格也远比商用对讲机便宜，但它并不是玩具，同样是正规的无线通信工具。作为无线电发射设备，公众对讲机也纳入国家电台管理，不允许用户私自改变预制发射频率、通过改装加大功率发射、擅自外接天线或改用其他发射天线、接入市话系统。在无线电管制期间，公众对讲机也必须服从管制令的相关条款。一些限制使用发射设备的场合，公众对讲机也会受到限制，比如禁止在机场和飞行器上使用公众对讲机。

用途广泛的FRS对讲机

在国外，公众对讲机被称为FRS对讲机，主要适用于个人短距离小范围通信。与常见的商用对讲机相比，从通信距离、产品外观、体积大小、销售价格、管理方式都完全不同。国外的FRS对讲机使用非常广泛，是很多家庭继手机和无绳电话后的重要通

信工具。比如一家人逛超市、看体育比赛，当分开的时候都会带上FRS对讲机来互通信息，有些小孩脖子上也挂上对讲机，以防走失。住大房子的家庭，FRS对讲机成为他们的呼叫工具，每个房间都放一个对讲机，要找人的时候呼叫通播一下。驴友户外活动探险，FRS对讲机是队员间最好的即时通信工具。汽车俱乐部外出游玩，FRS对讲机也是车队车辆间最高效的通信工具。有些餐馆也用FRS对讲机互通前台与厨房。一些非正式的体育赛事比赛和聚会活动中，工作人员也会用到FRS对讲机作为通信工具。在刺激的WarGame游戏中，FRS对讲机更是战队队员间通信的必备工具。甚至在美国军队的有些士兵也会自备FRS对讲机，以完成班组成员间的快捷通信。由此可见，FRS对讲机在国外应用十分广泛。

深入了解公众对讲机

在使用时，公众对讲机用户可以自选机内预制的20个频道中的任意一个频道进行通信，一般只要两台对讲机设置频率相同就能通话（对于有识别码和加密的对讲机，识别码和加密码也需设置一致）。公众对讲机的使用与大部分商用对讲机一样简单，打开电源开关后就开始收听，需要讲话或者呼叫时，按住机器上的PTT通话键即可，讲话完毕松开通话键，转为接收状态。与双工工作的电话相比，单工工作的对讲机说话时需要按着PTT发射键，收听时需要松开PTT发射键，是很多用户最初很不适应的地方。很多公众对讲机上有一个呼叫键，可以发出类似电话振铃的声音，对方从对讲机中听到振铃声就知道有人在发起呼叫了，如果只是两个人对讲，那么表示对方肯定在呼叫自己。

由于公众对讲机的购置和使用有点像现在的 WIFI 设备，无需申报执照，所以使用上没有规划，开放的频率资源是共享的。你有可能无意间在公众对讲机的一个频道里听到邻居家使用对讲机的通话，这通常被使用者称为“串台”。因此，使用公众对讲机需要本着礼让的原则，既然人家使用在先，我就换一个“清净”的频道。

使用公众对讲机通信时不要涉及自己和他人的隐私和机密内容，因为你的通话内容有可能被别人有意无意地接收到。一般具有识别码的公众对讲机并不具备语音加密功能，识别码只是用来区别不同的组群而已。即使是一些提供语音加密功能的对讲机限于成本，加密强度很弱，专业人员很容易破解。

公众对讲机的通信距离是用户最关心的。一般在典型的理想环境中，0.5W 对讲机的有效通信距离在 3km 左右。随着通信环境的改变，实际通信距离会有很大的改变。如果你身处制高点，周围又没有阻挡物，那你的对讲机通信距离将倍增。如果在高楼林立的繁华城市中，由于建筑物的阻挡，对讲机的通信距离将大为缩减。如果身处现代化高楼内部，由于建筑物金属结构影响，0.5W 的对讲机通不了几个楼层，如果依此计算垂直通信距离，则不足百米。公众对讲机产品按照生产规范，天线都是一体化固定的，所以用户也无从更换高增益天线，增加通信距离。

公众对讲机的电磁辐射安全是可以信赖的，它比手机的辐射小得多。目前我们使用的GSM移动电话手机工作于900MHz和1800MHz频段，最高输出功率为1W。公众对讲机工作于400MHz波段，输出功率为0.5W。公众对讲机在工作频率和输出功率上都低于GSM手持移动电话，对讲机只有在按下PTT通话键时才发射电磁波，而且对讲机操作时天线与头部的距离远比贴耳打电话方式要远，所以从人脑受电磁波影响的角度来说，使用对讲机更加安全。

形形色色的公众对讲机

公众对讲机的用户主要是非专业的家庭用户和社会公众，所以产品设计偏向家电化、时尚化，外形上与常见的商用和警用对讲机有明显的区别，不再有传统对讲机的笨重与刻板，改以小巧活泼的设计，颜色也符合时尚潮流。公众对讲机可以在一些家电卖场和手机市场甚至大型超市中买到。

按照产品价格、定位不同，公众对讲机的功能会有不同。最基本型号的公众对讲机只提供国家规定的20个基本信道，进阶产品在20个频道的基础上每个信道上增加了识别码。识别码是一种对讲机中常用的CTCSS亚音技术，用于区分在同一频道中不同的组群，使用得当可以减少串台干扰。一般公众对讲机都不直接显示工作频率，以国家规定的1～20信道号显示，基础信道一般用大数字显示，识别码一般用小数字显示，俗称“大频道、小频

具备振铃呼叫、VOX、秒表等功能的多功能对讲机

道”，一般将基础信道和识别码设置成一样的数字，就能进行对讲了。

很多厂家的公众对讲机在基本的对讲功能外还增加了各种扩展功能，常见的有振铃呼叫CALL功能、VOX声控发射功能、结束提示音、语音加密功能、FM收音机功能、MP3功能等。

振铃呼叫功能通过振铃音呼叫在线的用户，避免传统“土豆呼叫地瓜，听见请回答”的人工呼叫。VOX声控发射功能是利用话音激活对讲机的发射功能，用户无需手动按动PTT发射键。不过在实际使用中，声控发射并不完美，因为机器不会自动识别哪些话音是真正需要发射的，所以只要一有动静就会自动进入发射状态，有时说“悄悄话”也会被发射出去。因此，VOX声控发射功能只有在特殊状况下才使用。结束提示音是机器自动在每次释放PTT发射键后自动发出一个提示音，提示发话方发言结束，代替了在电影里常看到的用对讲机说完话总跟上的一句“OVER”。语音加密功能也被称为语音整理功能，可以将标准语音转换成不容易被听懂的加密话音在空中传输，有一定的保密作用。FM收音机和MP3功能是公众对讲机附加的时尚休闲流行功能，达到一物多用的目的。

公众对讲机为手持式对讲机，通过电池为对讲机供电。市场上的产品有用一次性干电池供电和可充电电池供电两类。使用干电池的产品售价比较便宜，用户需要自己购置碱性电池使用，大部分机器也支持用户使用标准镍氢或镍镉充电电池。碱性电池虽然容易购买，但由于公众对讲机发射耗电较大，所以一组电池使用寿命不长，频繁地购买碱性电池，会让对讲机的使用成本颇为可观。因此，采用一次性干电池供电的对讲机比较适合使用频度不高的用户。

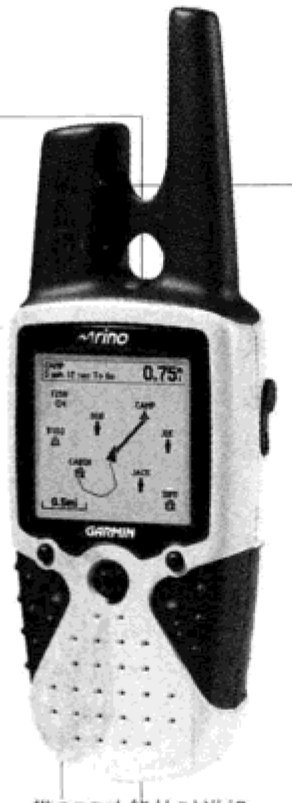
对于需要频繁使用对讲机的用户，购买可充电型的产品更为划算，虽然购置时价格贵一点，但电池可以反复充电循环使用，大幅度降低了使用成本。而且可充电的公众对讲机一般配有座式充电器，需要充电时，只要直接放置在充电座上即可，充电比移动电话充电还要方便。如果是干电池的机型，尽管用充电电池替代一次性碱性电池也可行，但每次充电都要将电池依次卸下，操作比较麻烦，况且好的充电电池价格也不便宜。

国内标准的公众对讲机与国外FRS对讲机有的虽然外观相似，功能相同，但互不兼容，两者不能直接互通。欧美国家的FRS对讲机使用的是460MHz频段，并非国内开放的409MHz频段，产品更没有中国的型号核准，所以严格地说，国外的FRS对讲机在国内使用是非法的。识别国内的公众对讲机与国外FRS对讲机比较容易，国内的公众对讲机有20个频道可选，而国外的FRS对讲机大多只有14个频道可选，少数的FRS+GMRS对讲机为22个频道。

在公众对讲机的品牌选择上，国外品牌以摩托罗拉为代表，国内品牌以好易通为代表。摩托罗拉是国际对讲机生产巨头，也致力于推广公众对讲机和FRS对讲机，国内最早出现的性能出众的T6200C公众对讲机就是摩托罗拉的产品，后来紧随其后推出了更便宜的T5428、T5628和超小型的T4508等公众对讲机。目前摩托罗拉推出的公众对讲机新品为TLKR-T3、T5、T7系列产品。好易通的TC-1688上市多年，产品性能稳定，占有一定的市场。

总而言之，公众对讲机是一种新兴的短距离便捷通信工具，使用得当，将为你的生活带来诸多便利。

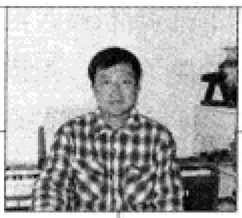
腕表式对讲机



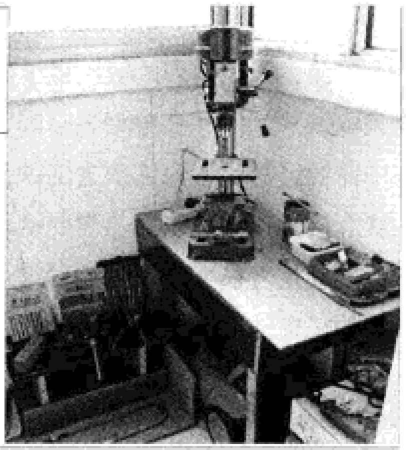
带GPS功能的对讲机

摩托罗拉TLKR-T7

◎臧海波



晒晒我的实验室/工作室



小制作的诞生地

我和我的工作室

我叫臧海波，1976年生于北京。与其他电子爱好者不同，我学习的专业是法律和经济管理，毕业后所从事的行业也和电子完全不相干。没有系统学习电子专业一直是我的一大遗憾，也正因如此，我可以从独特的角度去设计和实现我的制作。塞翁失马，焉知非福啊！

我通常会选择一些名家的经典线路来作为实验对象，在前人的基础上改良并设计自己的电路结构，在制作工艺上力图精益求精。

1 电子实验室

我的电子实验室很简单，图1是我的全部家当。我爱好电子的时间很长，从幼儿园大班开始就迷上了自制小手电，我现在仍然可以清晰地回忆起来用塑料眼药瓶和日光灯启辉器做外壳，用笔芯里面拆出的弹簧自制开关来点亮小电珠时周围小朋友们的兴奋。

我是个怀旧的人，除非这件工具彻底坏掉，否则舍不得换新的。细心观察的读者会发现，工作台上的工具差不多跨越了30年。如果要搞一些业余电子制作，这些工具足矣。下面简单说一下业余电子实验室必备的几样工具和我的使用经验。

图1 我的实验台

焊接工具

手工焊接是爱好者制作电路的主要方式，焊接质量的好坏会直接影响电路的性能。手工焊接是一项实践性很强的技能，选择适用的焊接工具再加上经常实践，才能有较好的焊接质量。

常用的焊接工具就是内热式和外热式电烙铁两种，还有可调温的焊台。烙铁头的形状有刀型头，尖头，马蹄头等。烙铁头的材料有纯铜头，还有长寿头。从小学参加科技小组活动第一次使用20W的内热式电烙铁，到现在使用的调温焊台，先后使用过十来把电烙铁，按照使用经验，我给它们列了个对比排名：

调温焊台>内热式>外热式；

刀型头>马蹄头>尖头；

进口长寿头>纯铜头>长寿头。

我现在使用的焊接工具有：一台配刀型长寿头的调温焊台，用于电子器件的焊接，一只75W外热式铜头电烙铁，用于微型机器人骨架、胆机搭棚等的焊接。国产一二百元的调温焊台已经非常好用了，升温迅速，焊点美观，烙铁头不会像传统电烙铁那样容易烧死。

此外，还有焊锡以及一些焊接辅助工具，烙铁架、海绵、放大镜台、镊子、刀片等。镊子建议选择弯头的，弯曲的头部方便夹取贴片元件和在电路板上固定这类元件进行焊接。在焊接过程中需要经常用湿海绵擦去烙铁头的杂质，以保证焊点的品质。每次焊接工作结束以后，需要给烙铁头吃上锡再断电，以保持烙铁头的使用寿命。手工焊接对焊点的要求是：电气性能良好，有一定的机械强度，焊点光滑圆润。

测量工具

业余电子制作常用的测量工具有万用表和示波器。万用表主要用于备料环节中单个器件的挑选和器件之间简单的配对，在调试环节万用表所起到的作用就很有限了，因为它只能测量简单的电压和电流变化。示波器可以直观地查看电路中各个节点的信号波形，借此分析出电路的实际工作情况，对于调试很有帮助。

我经常使用的万用表有两块。一块是常见的DT930型数字万用表，一块是经典的500型指针表。DT930主要用于电阻、二极管等器件的挑选、晶体管的简单配对。它的电容测试功能也很有用，在一些采用模拟线路的BEAM机器人里，需要对小电容做配对，这时就需要用到这项功能了。500型指针表和一台普源的DS1052E型数字示波器搭配，可用于电路的调试。指针表读数响应快，可以方便地观测脉动电压的变化。数字示波器可以与电脑连接，把测试数据以图形的方式保存下来。示波器对调试模拟机器人、传感器等信号变化复杂的电路非常有帮助。

其他工具

电路制作对螺丝刀、钳子等常用工具没有太严格的要求，顺手、好用就可以了。在电路的装配环节，偏口钳的利用率比较高，剪切导线、导线剥皮、元件剪脚都要用到，建议选择品质好一些的。

一些优质导线的外皮与线芯结合非常紧密，需要使用专门的剥线钳，才不会破坏线芯。

对于一些音响和单片机电路，在安装调试过程中，经常会拆卸8至40脚的双列直插式集成电路，此时需要准备一只芯片起拔器。

2 小型金属加工中心

对一个专业玩家来说，只有一个电子实验室是远远不够的。在机器人、模型这类机电一体化装置的制作过程中，必然会涉及到大量金属零件的设计和制作。金工环节也同样充满了创造的乐趣，建议大家多花些心思，建立起自己的“小型金属加工中心”。有了它的帮助，你可以把以前许多想到而做不到的构想和创意都得以实现。

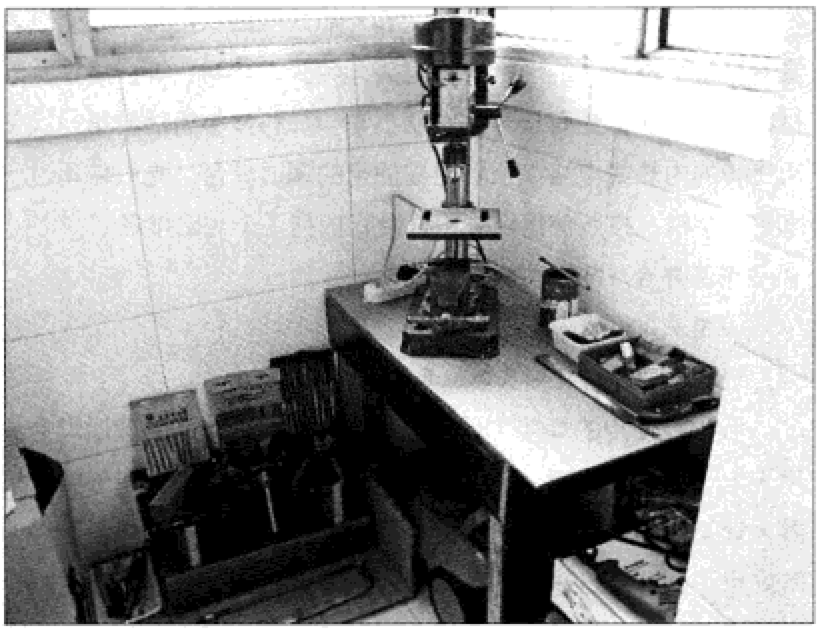


图2 我的小型金属加工中心

图2就是我的小型金属加工中心，在家里的北阳台开辟的一小块空间，可以完成大部分涉及到机器人、机箱等金属和非金属零件的制作。

金属加工涉及到下料、打孔、削磨、钣金等一系列借助电动工具来操作的工作，材料的加工过程有一定的危险性，并且会产生大量的金属屑、粉末等。与电路焊接不同，电路中一个元件焊错了，或者焊得不好，可以拆掉或者补焊，而金工的一个零件测量有误或者钻孔打偏，就会是无法弥补的错误。所以在金工操作的时候，一定要耐心细致，做好安全防护，并且经常保持工作环境的整洁。在家中安置这些设备应尽量选择光线充足，平时不经常走动的死角。

下面说一下这个“加工中心”必备的几样工具和我的使用经验。

台钳

加工中的材料简称为工件，工件的大部分加工，比如锯、锉、折弯都是在台钳上完成的。台钳以钳口的宽度为标定规格，可以根据待加工材料的大小来选择适合自己使用的规格，一般使用75mm的就可以完成大部分零件的制作了。我的加工中心准备有两只台钳，一只75mm，一只120mm。

图3 台钳的安放

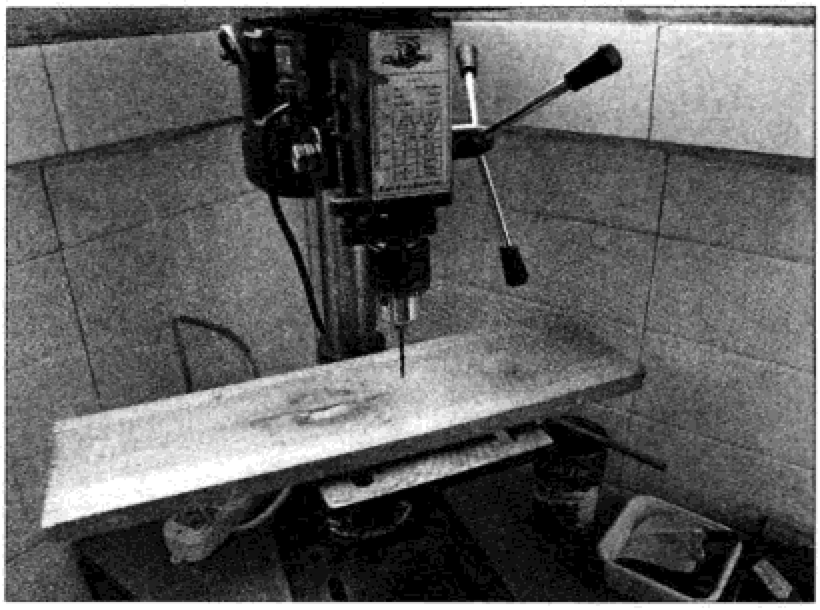


图4 台钻的使用

台钳的底座上有3个固定孔，需要通过螺栓固定在一个平稳、坚固、高度适合操作的工作台上。工作台可以用小桌子来代替，见图3。台钳是由活动钳身、固定钳身、底座和丝杆构成。活动钳身安装在固定钳身上，通过手柄带动一根有螺纹的丝杆在固定钳身槽内移动，使钳口能够开合。固定钳身连接在底座上，底座固定在工作台上。常见的台钳为自由旋转的类型，钳口可以在底座上旋转一定角度，并能通过底座上的锁紧手柄将钳口的位置锁定。

台钳具有两个增力机构，一个是手柄的增力，一个是螺纹传动的增力。这两个增力机构的增力比非常大，使得钳口可以可靠地固定住工件，从而保证工件在工作时不会发生任何移动。因为夹紧力比较大，可能会夹伤工件表面，所以需要在工件和钳口之间垫上牛皮纸等材料，以保护工件。

与台钳配合使用的工具有钢锯和什锦锉，钢锯的作用是切割材料。请大家注意一个细节，在给锯弓子上锯条的时候，应该把锯条的齿牙朝前安放。在锯的过程中，可以用左手扶住锯弓子前部，配合右手辅助推拉，这样可以保证材料切割面的规整。比较薄的材料，比如1mm厚的铁板、铝合金板，也可以直接使用铁剪刀来裁切。

什锦锉的头部有多种形状，经常用到的是平头扁锉、尖头扁锉、方锉、圆锉、圆边扁锉这几种。购买什锦锉时，可以按长度和直径来选择，建议3mm × 140mm和5mm × 180mm规格的各备一套。借助什锦锉，可以完成大多数零件的精细加工。例如，把台钳上固定的工件加工出特定的斜面、弧面，扩大钻孔直径，或者锉出机箱电源座的长方孔、按键的方孔等。

工件的折弯可以借助一根硬质木条来完成。先用台钳固定好工件，再在钳口上用木条抵住工件，然后双手在木条的两端同时用力，把工件弯折到需要的角度。木条的作用是使加工部位受力均匀，防止弯折线的中间凸起。

钻床

简称台钻，是一种体积小巧、操作简便的小型孔加工机床。钻床比手枪钻具有更好的操作性和加工精度，工作效率也更高。拿常见的蜘蛛型或者蛇形机器人来说，加工出一只这样机器人所需的全部金属零件，给材料打孔的总数会超过100个以上，而且舵机和机械连杆部分的孔对垂直精度有着非常高的要求，这些工作用手枪钻是很难做到的。

钻床钻孔的直径一般在13mm以下，最大不超过16mm。购买钻床时可以按它固定最大钻头的直径规格来买，只要对店家说13mm的钻床，他就会知道。需要注意的是，钻床最大的钻孔直径不要太大，即使是13mm的钻床，也不要用它钻直径超过10mm的孔。如果一个零件需要加工一个较大直径的孔，可以把它放到台钳上，借助什锦锉来扩孔。我的钻床规格是13mm的，用来加工厚度2mm以下的铁板和6mm以下的铝合金板，能够满足大部分制作的需要。

与台钳一样，钻床也需要安放在一个平稳的工作台上。工作台的高度以操作时双眼可以清晰查看加工中的工件为宜。小型钻床的主轴是垂直布置的，主轴的给进需要手动操作。

如上面提到的，使用电动工具加工金属材料具有一定的危险性，应该选择环境光线适合的时间段，戴好护目镜，集中精力进行操作。钻孔的工件需要借助G型夹子与钻床的托板装夹牢固，小工件可以用平口钳辅助夹持，千万不要直接用手拿工件操作，以防危险。钻薄金属板的时候，托板上需要垫一块木板，钻头快要钻透工件时，主轴的给进要慢，轻施压力，以免

图5 清理碎屑的工具

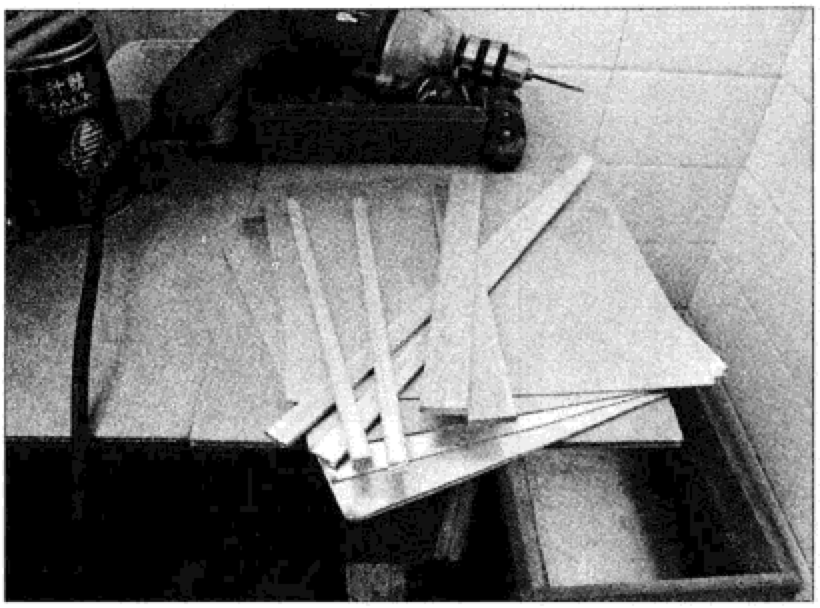


图6 条形铝棒

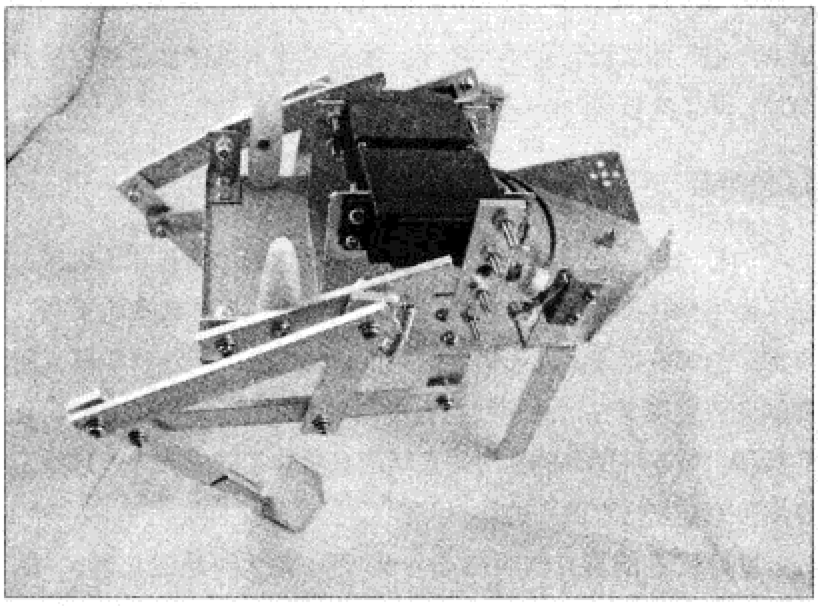


图7 机器蛙

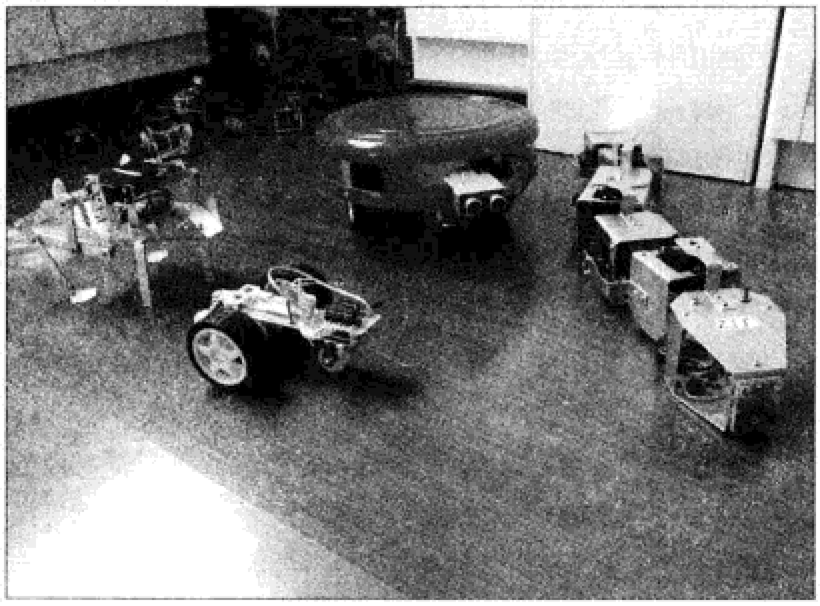


图8 我DIY的仿生机器人“全家福”

折断钻头发生意外，见图4。

加工流程

我采用的加工流程一般分成这样几步：首先在材料上用油性记号笔画出每个工件的轮廓，需要打孔的地方做好标注，然后上钻床，给整块材料打孔；最后把材料切割成各个工件，上台钳用什锦锉做最后的精细修整、折弯。

工作中产生的碎屑要及时清理。我用罐头盖做了一只小簸箕，配合小毛刷把金属屑收集到铁桶里。非金属的碎屑可以用吸尘器清理。见图5。

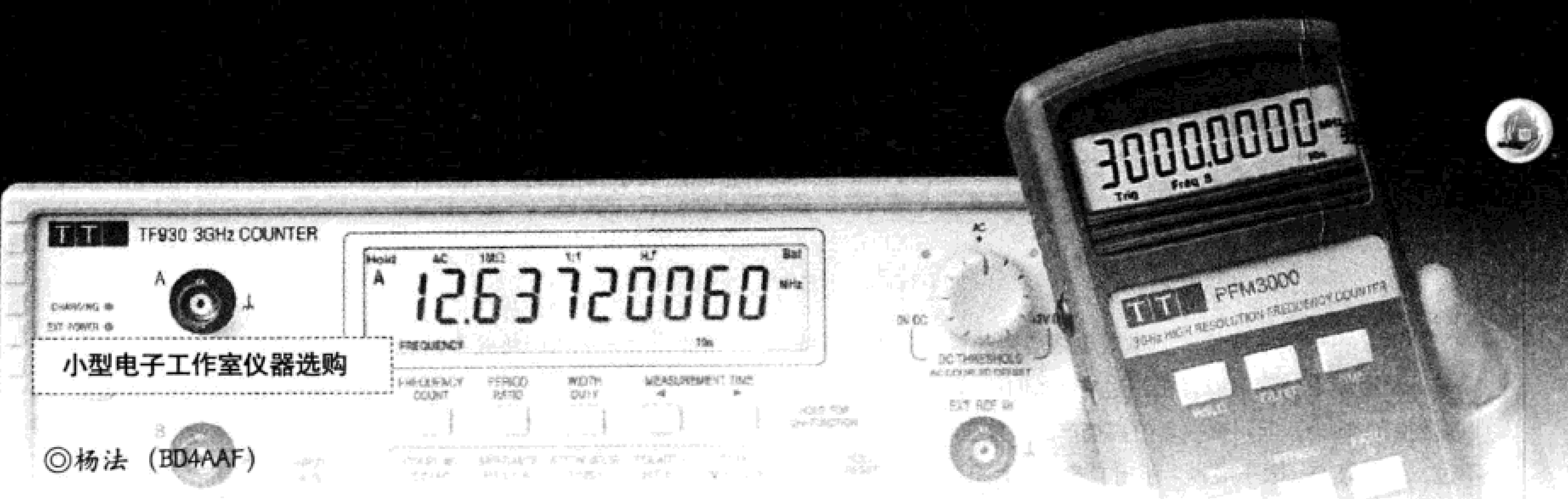
图6和图7分别是原始的铝合金板料、棒料和使用这些材料加工出来的蛙型机器人。

在业余制作中，使用到最多的材料是1mm厚的5052铝合金板，5052是板材的标号。这种铝板表面光泽度很好，且硬度适中，方便加工，在空气中不易氧化，最终完成的作品看起来会非常漂亮。5052铝板可以用来制作小型机箱、小车机器人底盘、舵机框架、摇臂、云台等结构件。

此外，常用的材料还有条形铝棒（见图6），可以用来制作比较复杂的连杆机构。从机械精度和方便加工的角度考虑，采用4mm厚的条形铝棒较为合适。生活中的材料也可以拿来做零件，比如图7中这只机器蛙后腿部位的限位销就是用牙刷柄改制而成的，而图8中机器乌龟的外壳是用玩具飞盘改制的。

从这两张图片的对比中，读者可以体会到上述工具化简单为神奇的魔力了吧？

图8是一张“全家福”，照片里展示的是我制作的几只仿生机器人，它们的骨架都是在这个“小型金属加工中心”里制作完成的。



◎杨法（BD4AAF）

谈谈频率计的选择

频率计又称计数器，是一种用来测量交流信号频率特性的仪器，广泛应用在射频领域，同时在家电维修、手机通信设备维修、单片机开发、教学实验、仪器计量中也常用到。目前，市场上入门级的频率计价格低廉，很容易为小型电子工作室所承受，是与射频和信号打交道的电子实验室必备的测量仪器。

用途广泛的频率计

频率计最基本的功能是用来测量交流信号或射频信号的频率，频率是信号的重要特征参数之一。很多信号产生电路由于环境变化（如温度变化）和元器件老化等因素导致实际工作频率与设计频率存在偏差，这时就需要用频率计来测量并加以校正。对于无线通信设备，如果频率误差过大，轻则影响产品的性能，严重的会导致产品不能工作，如移动电话和对讲机电台以及收音机，要是载波频率偏差过大，会直接影响通信距离和语音品质，具有发射特性的设备还可能对相邻的通信信道造成干扰。很多通信器材和仪器对自身频率的正确度和稳定性有很高的要求。

对于发射机（如广播电台、对讲机、寻呼发射机等），通过频率计测量，可以直接了解发射电波的实际频率，并通过对比规划频率得到工作频率的误差。

对于电子设备电路中的频率产生单元，通过频率计，可以测量是否有正确的频率输出，其中包括振荡电路是否起振和输出信号频率误差是否在设计允许范围内。当然，观察振荡电路信号最好用示波器测量，方便得到输出信号的波形、幅度、频率等信息，但考虑到入门级频率计价格低廉，可以作为检修振荡电路的土方法。有些小家电和遥控器由于晶体损坏导致故障出现是十分常见的。

对于一些通信设备接收机，利用频率计还能对内部一些电路，包括基准频率产生单元、变频级等，进行调校，确保设备处于最佳工作状态。

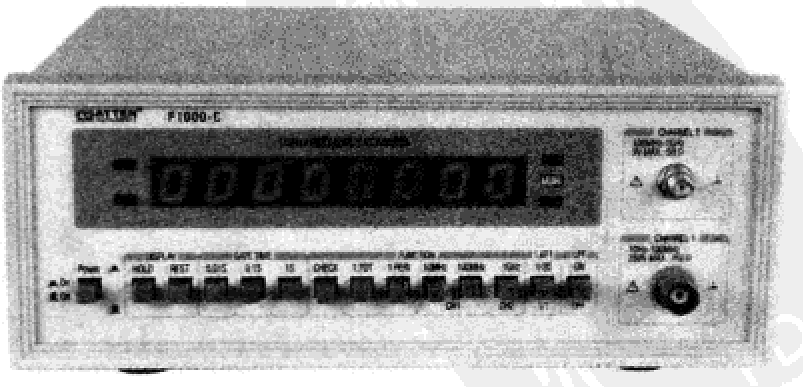
在仪器仪表校准应用中，一台经过计量保持精度的频率计能够用来测量校准信号发生器、示波器、频谱仪等仪器的频率误差。

对于一些做单片机开发的工作室，频率计可以测量单片机电路的时钟频率和信号输入、输出频率以及总线频率等。此外，很多小型电子工作室由于预算有限，配置了价格便宜的简易型LC振荡信号发生器或老款国产刻度指示的信号发生器，如果用数字频率计配合实时测量信号源输出频率，那么相当于给信号发生器增加了一个数字频率读出功能，不但使输出信号频率更为准确，也使频率发生器操作更为简便。

深入了解频率计

市场上的频率计按价格和性能分为两类，一类是廉价型的入门级频率计，一类是中高档的高性能频率计。

由于科技的发展，尤其是单片机技术的日新月异，新一代低端的频率计从硬件结构到元器件成本，与早期频率计相比有了很大的变化。以前复杂的计数器电路现在用一块专用集成电路或用单片机配合简单的外围电路就能达成目的。如果你现在拆开二三百元的入门级频率计会发现，里面的线路和元器件非常精简，重量也大大减轻。



二三百元的国产入门级频率计

同时，由于现在低价分频集成电路应用的普及，入门级的频率计测量频率范围可以轻松超过1000MHz，有的产品甚至可以达到2700MHz，而早期很多中高档产品只能工作到100MHz。不过，入门级产品限于成本，所用的廉价单片机数据处理能力有限，所以每秒读数有限，显示位数不多，频率显示分辨率有限。同样限于成本，大部分厂家都不愿意使用价格较高的成品TCXO温度补偿晶体振荡器作为时间基准，更不用说价格更高的OCXO恒温晶体，而只采用廉价的普通晶体。有的厂家在普通晶体的基础上增加了简单的加温电路，以低成本的方法提高晶体的稳定度。虽然这样的做法有一定成效，但效果自然比不上专业的TCXO，所以入门级频率计在频率稳定性、准确度以及显示分辨率方面的指标都不高。

总体而言，入门级频率计只能基本满足应用级场合的需要，如消费类电子产品维修、流水线调试、教学实验之类。不过话说回来，几百元的低价产品我们不能对其性能指标期望过高。

中高档的频率计传承精密仪器的设计理念，在测量性能、频率稳定度、通信接口上都有质的飞跃，当然价格也贵很多，仪器绝对是一分价钱一分货。

很多中高档频率计都具有每秒9位以上的读数能力，时间基准配置最基本的也是TCXO，高档产品会用到OCXO恒温晶体甚至铷钟作为时间基准。有的频率计虽然标配只是TCXO，但支持使用外部时间基准，方便用户外接更高稳定度的频标信号，以提高频率计的总体稳定度。有些中高档的频率计标配通道的工作频率虽然不太高，只有一两百兆赫兹，但支持扩展单元拓展测量频率范围。最高测量频率在3GHz以上的微波频率计都是中高档产品，廉价产品在技术和成本上尚难涉及。一些中高档频率计还提供有GP-IB/HP-IB/USB等通信接口，可以与电脑或其他设备共享数据，实现自动化检测，这在系统集成中非常有用。中高档频率计主打性能优势，主要用于实验室、计量和科学研究领域。

数字频率计常见显示方式有7段8字LED数码管显示、液晶屏显示、VFD真空荧光显示屏显示，显示方式与频率计性能无关。目前，主流的入门级频率计和部分中高档频率计多采用7段8字LED管显示，优点是LED主动发光，可视角度大，显示清晰，同时成本低廉。液晶显示内容可以比较丰富，但常规液晶显示效果远没有数码管好。VFD屏结合了数码管自发光和液晶屏显示丰富的优点，但由于成本较高，所以基本都是只有中高档产品才会考虑使用。大部分用户都认为VFD显示屏显示效果最好。

市场上有些仪器集成有频率计功能，但性能上或性价比上很难与单独的频率计相比。一些多功能的手持万用表提供有频率计功能，但由于显示位数的限制，其显示精度不高，而且大部分只能测量较低频率的信号，基本不能满足专业射频信号测量和调试的需要。

现代数字示波器具备的自动测量功能也包括频率的测量，不过同样也有测量精度不高和测量频率不高的问题。通常示波器测量频率范围限于示波器自身的带宽，市场上两三千元示波器的频率测量单项性能尚不及入门级频率计，同时示波器的价格比入门级频率计要贵不少。

一些函数信号发生器具有频率计功能，但同样有测量频率不高和分辨率不高的问题，一般只适合测量较低的频率。数字化频谱仪内置有频率计功能，但频谱仪的价格远高于频率计，基本没有人是为了使用频率计功能而配置频谱仪，而且一般频谱仪内置频率计的性能大致相当于中档频率计的性能，对于需要高精度测量频率的应用还是需要专用的频率计。

选购要点

要点一：弄清功能定位。

市场上专门设计用于测量频率的仪器有频率计（frequency counter）和通用计数器（universal counter）两类产品，习惯上我们都统称它们为频率计，实际上在功能方面两者是有区别的。频率计的功能比较单一，主要就是用来测量信号的频率和周期（两者互为倒数关系）。通用计数器功能则比较多（面板操作也比较

53131A标配TCXO，可选配OCXO

多功能计数器

复杂），除了测量频率外，还有测量周期、时间、计数、频率比等功能，有的还具有双通道信号输入和计算功能，多用于科学研究方面。同等技术水平的产品，通用计数器的价格要比频率计贵。

要点二：弄清测量方法。

中低档频率计有普通频率计和等精度频率计两类，两者的区别是对频率的测量方法不同。理论上，等精度频率测量方法兼顾高频和低频测量精度，优于传统的频率测量法和周期测量法。

要点三：关注三大指标。

最高测量频率、自身稳定度、测量分辨率是频率计最主要的三大指标。

最高测量频率标志着频率计的工作范围，需要指出的是，频率计的测量范围并非越宽越好，通常只要够用，留有余量就行。有些高档的频率计留有扩展通道，供拓展测量频率范围之用。频率计的最高测量频率与测量分辨率和稳定性没有直接的联系。单看测量频率的高低不能全面反映一台频率计的档次。市场上一台可以测量到2700MHz的入门级频率计的价格可以不到200元，而一台标配测量到225MHz的53131A频率计，市价却要近两万元，就很能说明这个问题。

频率计的稳定度主要与频率计内使用的晶体振荡器（时间基准）稳定性有关，高端的采用铷钟，然后依次是OCXO、TCXO。同一种类型的晶体振荡器指标也有高低之分。

测量性能主要包括测量的速度、分辨率、精度，这与电路设计和MCU运算速度以及软件算法有关。中高档的频率计大多提供每秒9位以上的读数能力，而入门级产品则多在每秒7～8位的水平。读数能力直接表现为频率计的显示分辨率，如果用户需要对频率做精密测量，就必须用到高分辨率的频率计。频率计的读数能力一般以1秒钟时间闸门频率计能够提供的数据位数为标准。通常，随着时间闸门缩短，读数位数会下降。使用更长的时间闸门可以通过软件提升读数位数，但超过2秒的时间闸门实际使用意义很小。一般入门级频率计都规避直接标出这个指标，而对于中高档产品，则是一个标志测量性能的重要指标。

要点四：关注品牌的信任度和售后保修。

对于商业性用户，使用仪器的品牌也有讲究。使用国际知名品牌的仪器产品，一方面会彰显你工作室的实力，另一方面也会使懂行的客户更加相信你的测试结果，增加信任度。国外品牌的频率计，如Agilent、Anritsu、Tektronix、Fluke等，在业内知名度很高。售后服务方面，除了保修以外，有的厂家还提供校准服务，可以确保频率计保持精度。

选择策略

小型电子工作室配置频率计应根据具体应用，确定产品的档次，并制定预算。

如果是一般的维修级应用、普通电子产品和单片机开发，那么普通入门级频率计就可以使用，预算在200～500元。建议选购做工扎实、采用温度补偿晶体或具有温度补偿措施的频率计，在稳定性和正确度方面比较有保障。频率计的正确度需要定期计量来保证。市面上500元以下入门级频率计中，安泰信、华谊、胜利、兆信等的产品口碑较好。F-1000C/F-2700C、VC3165、MS6100是比较热门的型号。

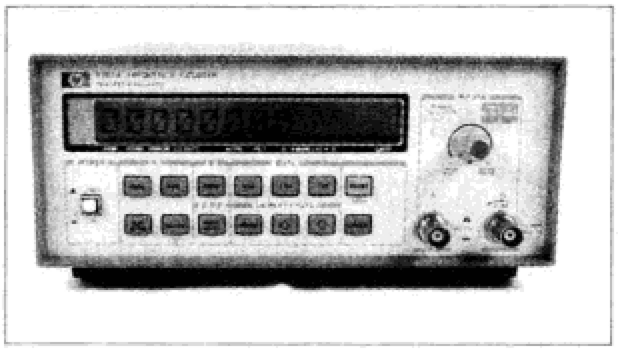
频率计的最高测试频率往往被商家捧为最吸引眼球的指标。其实前面已经说过，频率计测试频率的高低与频率计自身稳定性和测量精度都没有直接、必然的关系，一台频率计的最高测试频率只要高于日常应用中所需测量的最高频率就够用了。有些入门级的频率计还有一些如支持对石英晶体直接测量的扩展功能，对于有这方面应用需要的用户可以加以特别考虑。

需要现场测量又对频率测量精度要求不高的用户，可以考虑手持式频率计。手持式频率计具有体积小、重量轻、携带方便、不需要使用220V市电供电的优点。通常手持式频率计稳定度不高，但应用于现场快速测量，还是有一定的优势。有的手持频率计还有信号输入强度指示，可以用来当一个简易的场强仪使用。一般不推荐将手持频率计用于主力固定场合。

仪器校准、精密频率、时间基准方面的测量需要用到高稳定度、高测量性能的频率计。目前市面上最容易买到的高性能产品是美国Agilent的产品，主流产品可以提供每秒10位到12位的读数分辨率能力，测量最高频率范围从225MHz到46GHz。其他如Pendulum、RACAL-DANA、Fluke（福禄克）、Philip（飞利浦）、TTI、Anritsu（安立），也有不少优秀的产品。很多中高档频率计

VC3165

手持式频率计


二手HP5385A频率计

HP53840A参考频标

支持外接时间基准，这样用户就能通过外接更高稳定度的时间基准来减小误差，提升总体稳定度。不同型号的频率计在设计时，外接时间基准频率是不同的，最好选择常用频率时间基准的产品，这样找同频率的参考时间基准会方便得多，如10MHz时间基准的产品。需要注意的是，有些入门级频率计后部也有一个BNC接口，只是该接口只能输出频率计内部时间基准信号，主要是方便频率计的校准，并不支持外部时间基准信号输入。

普通频率计主要测量稳定载波信号，所以如果你需要测量TDMA信号等非连续信号（如GSM TETRA信号），普通频率计就无能为力了，除了对应制式的专用测试仪器外，一般通用的测试手段是用频谱仪。

入门级的频率计价格低廉，当然首选全新的产品。中高档的频率计由于价格昂贵，对于预算不多而又确实需要使用其功能的小型工作室，不妨考虑二手产品。

前面提到过市价近两万元的Agilent 53131A在二手市场上五六千元就能买到。国内市场上，由于Agilent和HP名气大，所以二手货价格也比较高。预算实在有限的朋友可以考虑其他进口名牌的产品，如Anritsu、RACAL-DANA、Fluke、ADVANTEST等，价格上会更实惠一些。

成色好、性能佳的二手频率计具有很高的性价比，有些频率计后部有原厂封条，证明没有被第三方拆修过。二手频率计的简单校验可以通过测量高稳定度的基准源来观察相对误差。对于频率准确度要求高的用户，将频率计送到计量院计量是最可靠的办法。

二手市场上Agilent新款频率计价格比较高，相对而言，早期HP的产品就实惠得多，如HP5385A频率计工作频率到1GHz，具有9位/秒的读出性能，并支持外部频标，二手价在1500元左右，适合除了校准以外的绝大部分实验室应用。

二手市场上还有GPS+OCXO的HP58540A 10MHz参考频标和LUCENT铷钟，它们都可以提供较普通TCXO和OCXO更高的稳定度、准确度的时间基准信号，二手价格只有三四百元，与高精度频率计配合使用可相得益彰。

对于不支持使用外部时间基准的入门级频率计，可以将高稳定度的参考频标作为可信的标准源，用于校准手头的频率计。

常用附件

小型电子工作室配置了频率计后，在日常使用中还需要一些附件的配合。

1. 探头

对于测试电路板上的小信号频率，可以使用示波器的探头。如果预算不多，普通的国产100MHz示波器探头即可，不一定选配价格昂贵的高带宽探头。有时直接用直通的导线也能测量，当然传输部分最好是同轴电缆。

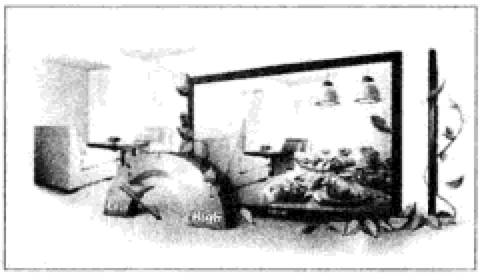
2. 衰减器

对于大功率的信号，如对讲机、车载电台发出的信号，需要经过衰减器将信号功率减小后才能输入频率计，否则频率计端口极易过载损坏。一般频率计的输入端口上都标有允许最大输入的电压值。所需衰减器的衰减量和自身承受功率可根据实际输入信号功率等级来推算，原则上衰减器的承受功率要大于实际输入功率，经衰减输出的信号幅度要小于频率计端口允许输入的最大限值。

3. 拉杆天线

对于频率不是很低又有一定发射功率的信号，如VHF/UHF对讲机信号，除了通过“电缆+衰减器”与频率计标准方法连接外，在精度要求不高的情况下，可以用简单的感应法测量，通过为频率计安装天线来感应高场强信号进行频率测量。这种方法的优点是不需要使用连接电缆和衰减器，操作简便，只要将发射机天线适当靠近频率计天线即可，但缺点是测试中增加了意外干扰信号的不确定因素。频率计用感应法测量VHF频段以上信号，配用10～30cm的拉杆天线就可以了，不用讲究天线的谐振和匹配，通常400MHz对讲机的折叠拉杆天线就很好用。

三星商用大屏推出多款新品

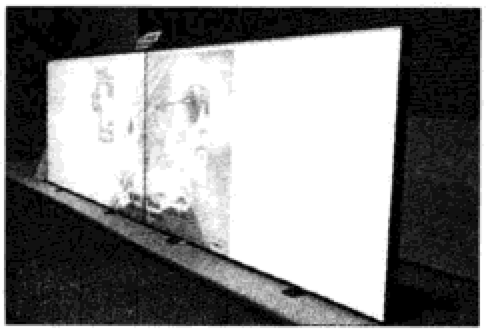


2010年，三星在能源、交通等商用大屏显示器高端市场取得了不俗的业绩，这主要得益于三星强大的研发实力以及卓越过硬的产品品质。进入2011年，三星加快了中国内地的商用大屏市场拓展力度，近期，三星商用大屏将推出多款顺应市场应用诉求的新品，以期为用户提供更具个性化与针对性的应用解决方案。

据悉，在即将发布的2011年春季新品中，打头阵的将是三星第2代超视界无缝液晶视频墙UD55A。此款新品在三星商用大屏旗舰产品UT系列基础上，将双边拼缝缩小到了5.3mm，对屏幕尺寸进行了扩充，并进行了LED背光等核心技术的全面升级，实现了画面显示和拼接应用的极大突破。UD55A内置了视频处理器，支持多台显示器矩阵拼接，并支持三星特有的ID积木式拼接方案。相信这款产品将凭借更超前的技术、更细化的解决方案，以及原厂整机的诸多优势激发出更广泛的市场需求，带来大屏液晶拼接市场新一轮的发展契机。

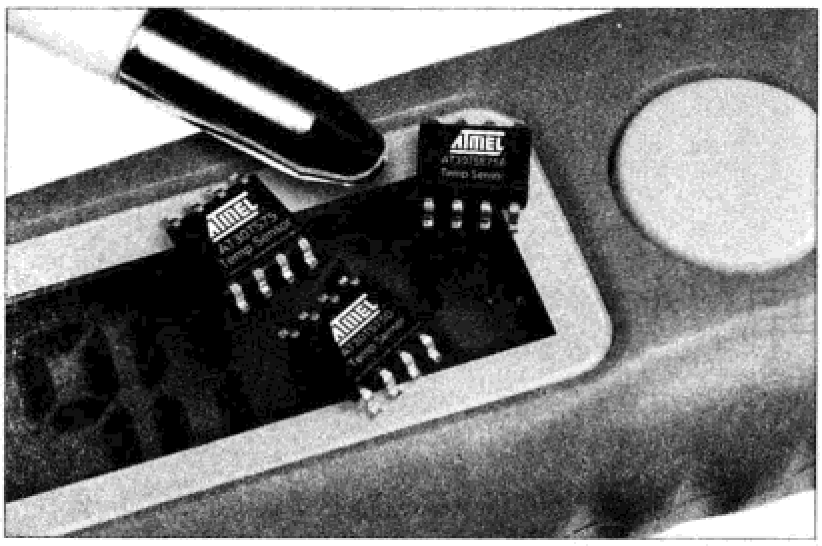
众所周知，伴随技术的进步和用户对超薄、环保等需求的日益明显，低能耗、低有害物质、高对比度、长寿命的LED背光技术已成为未来发展趋势。数据显示，LED背光显示器在2010年呈现井喷，在液晶显示器市场的渗透率将近1/5。随着LED背光液晶面板价格的逐步下调，可以预见，2011年LED背光技术将可能成为商用显示器的重要组成部分。三星是最早应用LED背光技术的显示厂商之一，今年将推出涵盖40英寸、46英寸、55英寸等多个尺寸的多款LED背光新品。新的产品将采用目前市场上最先进的LED背光技术，在保证高清画质、色彩丰富的同时，比普通LED背光大屏幕显示器节能30%，环保效果更好。据了解，全新的超薄LED背光大屏显示器还内置PC，消除了人们对额外PC的需求，确保在使用寿命期间显示出卓越的经济功效。

另外，2011年三星还将推出更多的互动显示和多款户外显示新品，从新品的型号配置及解决方案的目标用户定位来看，三星商用大屏的战略非常明确：秉承三星一贯的卓越品质和优化配置的同时，以更先进、更环保、更智能、更简单易用、更多互动、更窄、更薄的产品为需求日益个性化的用户提供更多的专业性选择。



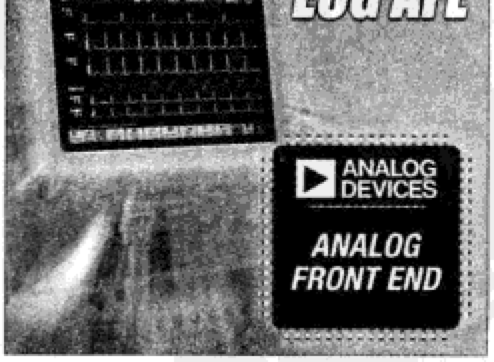
Atmel公司推出革新性数字温度传感器系列

爱特梅尔公司(Atmel Corporation)宣布推出集成非易失性存储器和串行EEPROM存储器的高精度数字温度传感器系列。这种组合可在上电循环中保持用户定制的设置，从而简化系统设计，减少处理器启动代码，提高可靠性并确保正常运行。数字温度传感器具有出色的精确度，相比其他技术如热耦、热敏电阻器、电阻性热器件等，能够测量更广大范围的温度。此外，数字温度传感器能够直接控制系统中的其他电路，减轻微控制器的负荷。Atmel AT30TS750系列是消费电子、工业、计算机和医疗应用的理想选择。



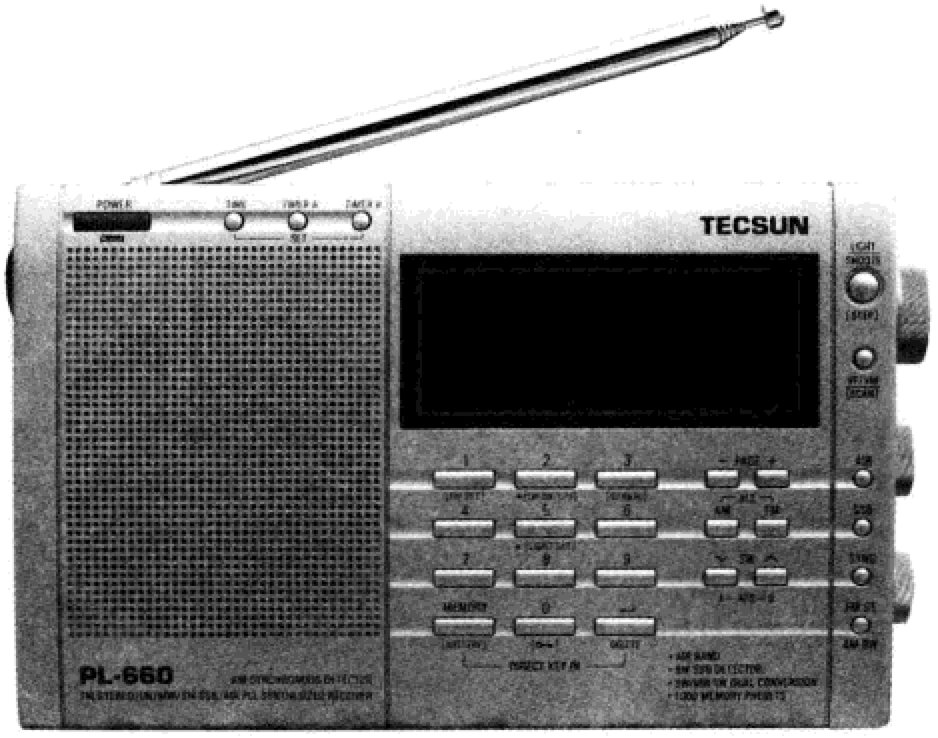
ADI公司针对诊断级ECG应用推出集成模拟前端子系统

ADI公司推出支持ECG系统实现监护级和诊断级性能的全集成AFE（模拟前端）系列芯片的首款产品ADAS1000。ECG（心电图）系统能够极其详尽地测量和记录人类心脏的电活动，从而帮助医生精确分析心脏的各种状况。该器件还集成了起搏器脉搏检测和呼吸测量功能，这些特性对于高性能ECG系统是至关重要的。ADAS1000可以针对噪声性能、功耗或数据速率进行优化配置，适合家用、救护车和临床ECG系统。未来推出的该系列新产品还将提供优化特性和功能，以支持传统及新兴的ECG系统应用。



◎张建雄

德生PL-660收音机试用手记



早就听说德生公司将要推出一款高性能数字调谐全波段二次变频立体声收音机——PL-660。虽然也知道这款新机要不知猴年马月才能面世，但从心底还是默默祈望德生公司能尽快将它投产。

前二天突然收到德生公司送来试听测试的PL-660，使我一阵惊喜，要知道在德生公司的收音机生产历程中，称得上里程碑的收音机有：PL-757、HMA2000、R9700DX、PL-600、S2000等机型，它们在收音机爱好者心中留下了不可磨灭的印象。而这款PL-660机定会在收音机爱好者中激起一波涟漪。

这款PL-660机是德生公司用于测试的工程样机，其作用就是让忠实的收音机爱好者在一款产品正式推出之前对机器性能、接收状况、操作等方面进行系列的测试，并及时将测试情况反馈给德生公司，以便公司对机器进一步地完善。虽然我收到的PL-660只是一款工程样机，测试完成后还要将机器寄还给德生公司，但作为一个普通的收音机爱好者，能提前把玩PL-660机器，我非常自豪。

拆开包装，取出PL-660，第一眼望见该机就有似曾相识的感觉，仔细端详PL-660，发现它与PL-600果然是一对同胞兄弟，但在功能上，PL-660比PL-600增加了广大收音机爱好者梦寐以求的航空波段接收和同步检波两项功能，而在灵敏度、选择性以及声音的可听度方面，PL-660比PL-600也有了比较大的提升。

加上4节满电的充电电池，PL-660的屏幕立即显示关机状态下的信息。由于是第一次通电，首先要设置好时间，PL-660的面板按键功能设计与PL-600大同小异，我熟练地不用1分钟就调整好时间了。设置好了时间，就静下心来认真端详PL-660的尊容，号称盖世杰作的PL-660，大大的个头，外形尺寸与他的同门兄弟PL-600同出一辙，只是PL-660的面板采用圆弧形的设计，符合时尚与个性的潮流。屏幕显示与PL-600大体相同，不过还增加了一些显示内容，如新增加航空波段接收功能和同步检波功能的显示等。屏幕的背光采用橘黄色，显得豪华温馨，给人一种高贵华丽的感觉。

整个面板的按键设计要纤细一些，左上角是电源开关键（Power/Sleep），向右边依次是：时间设置键（Time）、定时A设置键（Timer A）、定时B设置键（Timer B），面板的最右边上部是屏幕背光灯/贪睡/调谐步进键（Light/Snooze/Step Button），往下依次是：频率/地址切换及自动浏览键（VF/VM/SCAN）、航空波段键（AIR）、单边带键（SSB）、同步检波键（SYNC）、调频立体声及调幅宽/窄带键（FM ST & AM BW）。面板中部左边是扬声器面板，右边上部是显示屏幕，右边下部是主按键区。主按键区左侧是数字0~9按键和储存电台键（Memory）、锁定键、删除/确认键（Delete/）。主按键区的右侧是：页面选择键（PAGE）和调频/中波、长波/短波波段及ATS键（FM/AM(MW、LW)/SW Band Selector & Auto Tuning Storage）。

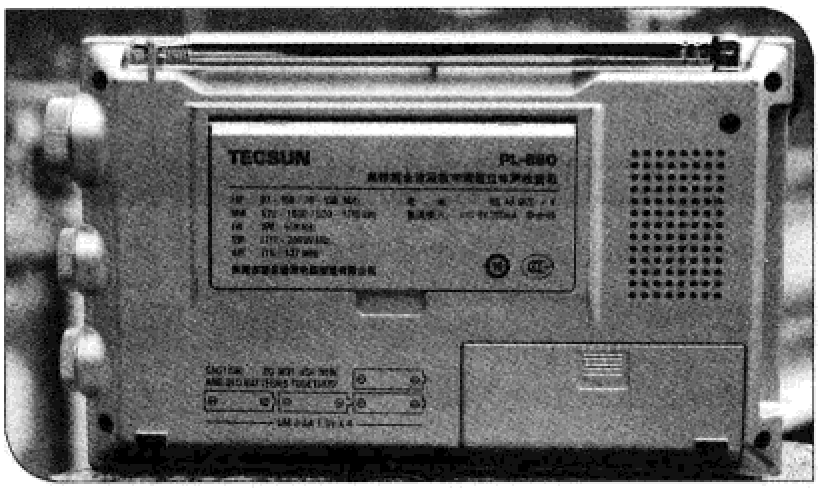
PL-660机的左侧面照例是各种插口和转换选择开关，从上到下分别是：天线插口（ANTENNA）、灵敏度选择开关（ANT GAIN）、音调选择开关（TONE）、耳机插孔、外接电源插孔。机器的右侧有3个旋钮，从上往下分别是：多功能调节旋钮（TUNING）、单边带拍频旋钮（SSB BFO）、音量调节旋钮（VOLUME）。机器的背面印制有该机的接收频率范围和电源指标以及制造厂的名称等，背面右下部有电池座，用以安装4节AA

（5号）电池。

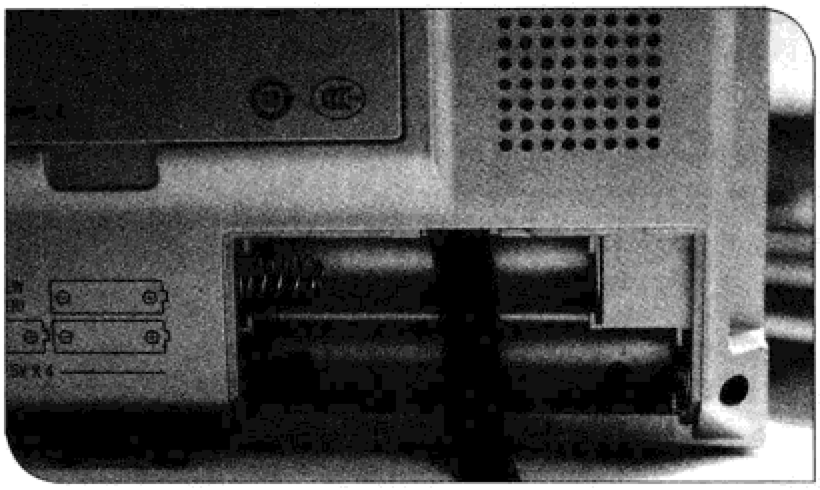
在基本了解和掌握PL-660的按键功能及操作方法后，我开始对PL-660的接收性能进行试用。轻按下左上角的电源开关，机器便接通了电源，屏幕显示电池电量、所接收的波段和频率、信号强度。如果收听中波、长波、短波波段，还能显示窄带或宽带状态，调频接收能显示是否立体声接收，屏幕的右上角有时间显示（通过按键能转换显示电台储存页面/位置）。需要提示的是，在打开PL-660收音机的电源开关时，机器首先是显示自动关机时间，要设置自动关机时间时，则要长按电源开关键（POWER），再旋转（TUNING）飞梭钮，可选择在1~120分钟内自动关机，或选择“ON”长开机。

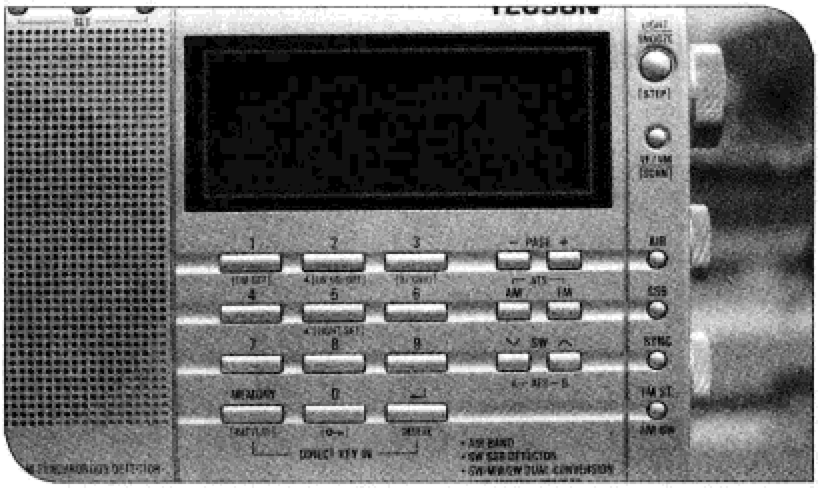
接着进行中波的接收，PL-660有电台预览功能，为了测试PL-660中波的灵敏度和选择性，要对中波电台进行一次预览。首先按下中波（AM）按键，使机器为中波接收状态，再轻按机器右侧的“频率/地址切换及自动扫描键”（VF/VM/SCAN），使PL-660切换为电台频率调节状态。这时屏幕上的频率数字会二次闪烁，然后旋转多功能调节旋钮（TUNING），或直接输入频率，使机器的频率为中波段频率最低端（522kHz），再长按“频率/地址切换及自动浏览键”键，PL-660便开始对中波进行电台接收扫描，当接收到电台信号时，机器会暂停搜索，播放该电台信号5秒钟，然后继续搜索电台信号，整个中波频段预览用时约60秒钟，搜索到本地电台（白天时间）4个。当机器搜索到中波最高端频率1620kHz时，轻按一下自动扫描键，或旋转一下多功能调节旋钮（TUNING），扫描就会停止。直接输入频率1170kHz，接收本地中波转播台转播的中央台中国之声，洪亮的声音从扬声器传出。PL-660的输出功率达到450mW，采用直径为77mm、阻抗为16Ω、功率为1W的纸盆扬声器，在25m²的客厅内，机器开一半左右的音量都能清晰收听电台广播的声音。PL-660采用传统模拟电子电路，使PL-660收音机的声音能保持原汁原味，迎合高端收音机爱好者对收音机声音的苛刻要求。

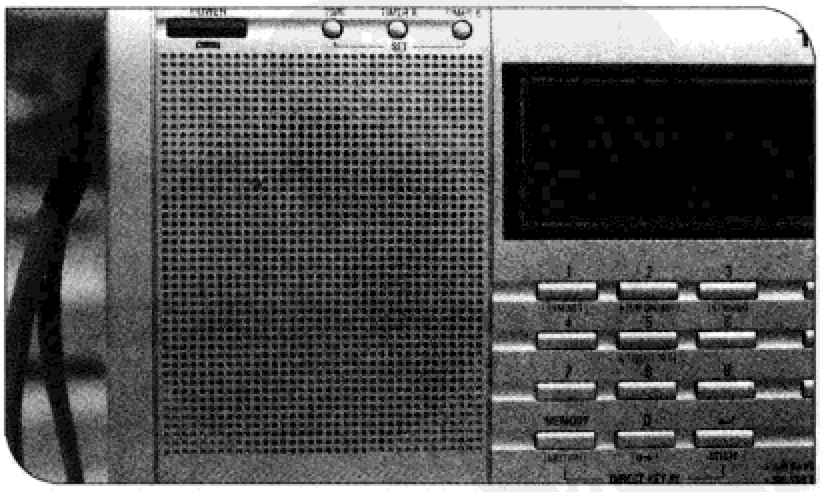
PL-660收音机的灵敏度和选择性比较高，晚上的时候在广东的东北部接收远地的中波电台广播（如：湖北人民广播电台和江西人民广播电台）也是非常清晰。PL-660有降噪电路，使得整机底噪很低。PL-660还设置有调幅中频带宽转换功能，中频带宽可以设置为宽带和窄带。当设置为宽带时收听本地强电台，可以获得较好的音质，而当中频带宽设置为窄带时，接收远距离弱电



背面


电池仓


屏幕及按键区


扬声器面板

附表：PL-660基本技术指标

1. 频率范围 / 调谐步进

●调频（FM）：76~108MHz，智能步进0.01/0.1MHz
可自选频率覆盖范围
标准：87~108 MHz（适用于除日本、德国、俄罗斯以外的其他各国标准）
德国：87.5~108 MHz（设置时显示88~108 MHz）
日本：76~108 MHz（含部分校园广播和国内4~5频道）
短波（SW）：1711~29999kHz，智能步进1/5kHz
中波（MW）：522~1620kHz，智能步进1/9kHz（适合亚洲、非洲及欧洲）
520~1700，智能步进1/10kHz（适合北美洲）
长波：100~519 kHz，智能步进1/9kHz
航空波段：118~137MHz

2. 噪限灵敏度

●调频（FM）：（SN=30dB）优于3μV
●中波（MW）：（SN=26dB）优于1mV/m
●长波（LW）：（SN=26dB）优于5mV/m
●短波（SW）：（SN=26dB）优于20μV
●单边带（SW）：（SN=10dB）优于1μV
●航空波段（AIR）：（SN=10dB）优于5μV

3. 调幅单信号选择性

±5k时 优于28dB
±7k时 优于45dB

4. 信噪比

●调频（FM）：优于60dB
●中波（MW）：优于45dB
●短波（SW）：优于50dB

5. 中频频率

●SSB、AM：第一中频 55.845MHz，第二中频 455kHz
●FM：10.7MHz

6. 调频立体声分离度过

优于 20dB

7. 输出功率（失真10%）

●扬声器：≥450mW
●耳机：≥10mW

8. 储存记忆数：共2000个

●按波段储存：共 800个
调频（FM）：100个
中波（MW）：100个
长波（LW）：100个
短波（SW）：200个
单边带（SSB）：200个
航空波段（AIR）：100个
●跨波段储存：分12页，每页可储存100个，共1200个

9. 闹醒模式

广播电台闹响（2个）

10. 静态电流

调频（FM）：<50mA
中波（MW）：<65mA
长波（LW）：<65mA
短波（SW）：<65mA
单边带（SSB）：<75mA
航空波段（AIR）：<70mA
关机待机：<80μA

11. 扬声器规格

直径77mm、阻抗16Ω、功率1W纸盆扬声器

12. 耳机规格

直径3.5mm、32Ω立体声耳机

13. 供电方式

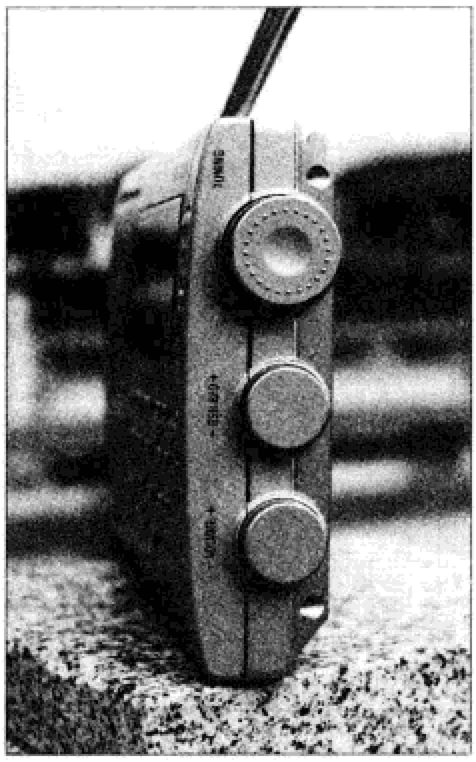
●电池：4 节 R6（五号）干电池或充电电池
●外接电源：直流 6V ≥ 300mA

14. 实物尺寸

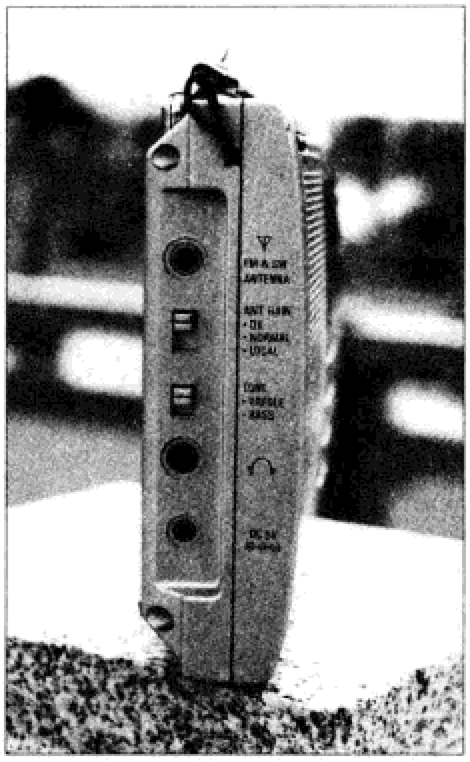
181mm（宽）×116mm（高）×36mm（厚）

15. 重量

约470g（不含电池）



各种调谐旋钮



各种输入输出插孔

台信号，可抑制邻近电台的干扰，降低背景噪声。

测试完中波，接着进行短波接收状态的试用，将PL-660的机内天线全部拉出，轻按PL-660面板的短波按键（SW），机器进入短波接收状态。PL-660的机内天线与PL-600是一样的，共8节，天线长度约90cm。PL-660设计有自动搜索储存电台ATS功能，可用于调频FM、中波AM、长波LW和短波SW的自动搜索储存电台。在收听频率跨度比较大，电台数量比较多的短波时，ATS功能很实用，所以在收听短波电台时，首先要让机器自动搜索并储存电台，这样在以后收听短波电台时，就不用一个电台一个电台地去调谐，而只要调出储存在机器里面的电台即可。在自动搜索储存电台前，要先把PL-660的储存电台的位置选择好，然后就可以自动搜索储存电台了。PL-660短波的ATS功能分两个模式：A模式是长按短波的[V]键，即可ATS所有米波段内的电台；B模式是长按[Λ]键，即可ATS当前米波段内的电台。我选择机器的短波储存在第三页，再长按短波[V]键，机器便开始对短波所有米波段内的电台进行自动搜索并储存，全部搜索完成共用时3分10秒，在下午18时的时间搜索储存了99个电台频率。

ATS完成后，旋动多功能调节旋钮，调出储存的短波电台，发现储存了不少弱信号的电台频率，有些电台广播用的是外国语，不知道是哪国的电台，也不知道广播些什么内容，可见PL-660的短波灵敏度也设计得很高，弱小电台信号也能搜索并储存到。而接收到的中央人民广播电台的几个频道的节目，信号强度比较高，接收效果也比较好，如经济之声11.800MHz的电台信号，声音清晰，底噪很低，自动增益控制（AGC）也做得很好，声音很少出现忽大忽小的情况。而弱电台信号的接收，底噪就比较大，性能没有德生的S2000收音机好。

在收听短波电台时，还试用了PL-660专门增加的“同步检波”功能。在正常收听中度偏弱信号强度的短波电台，而且有相邻电台干扰声的时候，轻按一下同步检波按键SYNC，收音机以USB电路进行同步检波，这时候收音机的声音稍微有一些变化，声音变得低沉了一些，抑制相邻电台干扰稍微有一些效果，但效果不太明显，干扰还是会有些存在。再按一下同步检波按键SYNC，收音机以LSB电路进行同步检波，声音也有变化，没有那么低沉了，但抑制相邻电台干扰的效果跟USB电路同步检波的时候差不多，主观感觉效果不明显。德生PL-660收音机的说明书对收音机的同步检波有特别提示：“一般情况下，在收音机正常调谐和收听时，普通的调幅方式是最佳的。当接收到的信号失真，或受到邻近电台的干扰时，开启同步检波电路可有效改善接收效果”。可见，如果能以普通方式收听电台广播时，不要开启同步检波电路功能更好些。

试听完中波、短波电台的接收，接下来要进行调频FM电台接收的测试，由于笔者所在地在广东的东北部，而且是小城市，当地的FM广播电台不多，本地强信号电台有4个频道，另外还有邻近省市的调频电台好几个，如龙岩市台、福建省台（可能通过龙岩市转播）、永定县台等，强、弱电台合计总共有10多个。把PL-660机内天线拉出，再轻按PL-660收音机的FM波段接收键，将机器设置到FM接收状态，先直接输入当地电台频率89.9MHz，这是个当地转播中国之声的节目，洪亮的声音从收音机的扬声器传出，屏幕显示是立体声接收、信号满格，听不到任何的杂音，接收效果是相当地好。再输入当地电台广播频率103.8MHz，电台节目正在播放歌曲，接收效果也很好，歌曲很动听。为了试验PL-660的接收灵敏度，我把机器天线全部收回并扣好在机器的顶部，机器也能接收到当地电台的强信号广播，并且没有出现噪声，可见PL-660把FM电台接收灵敏度设计得非常高，而且降噪电路功能发挥得也相当好，FM接收效果绝对不亚于其他国产的收音机。

由于笔者所在地没有航空波段的广播，没有办法试验PL-660接收航空波段的情况，有点遗憾。

总之，PL-660是目前技术含量比较高、各项性能比较好、可操作性比较人性化的一款国产便携式收音机，其不足之处主要有：音量调节旋钮是机械式的，不是飞梭调节，虽然可以关机调节音量位置，但使用时间长了，电位器难免会有磨损，这样就会在使用中出现杂音。另外，整个机器的竖放时候的支撑方式跟PL-600一样是三点式的，觉得不够稳固，希望有待改进。

怎样使二手收音机焕然一新

◎陈祖德

收藏的老收音机往往是二手收音机，有的甚至是经过几个买家。由于买到的收音机已经过了久远的岁月，又被原使用者长期使用，机器的表面常已经满布污垢，内部充满灰尘，各开关触点也接触不良……

怎样打理这类收音机并使它焕发出原有的光泽呢？我在此谈谈自己的经验。

刚买回的收音机表面有很多污垢，如果仅用湿布简单地擦拭机器的表面，这些污垢是去不掉的，一定要把机器解体清洁（图1）。

首先要把机器的前后盖拆开，机壳中不能留有任何电器部件（尤其是扬声器）。

这台机器是框架结构的，所有的部件都组装在一个框架上，比较好拆卸，但多数机器不是这种结构，有些接线是需要焊接的，所

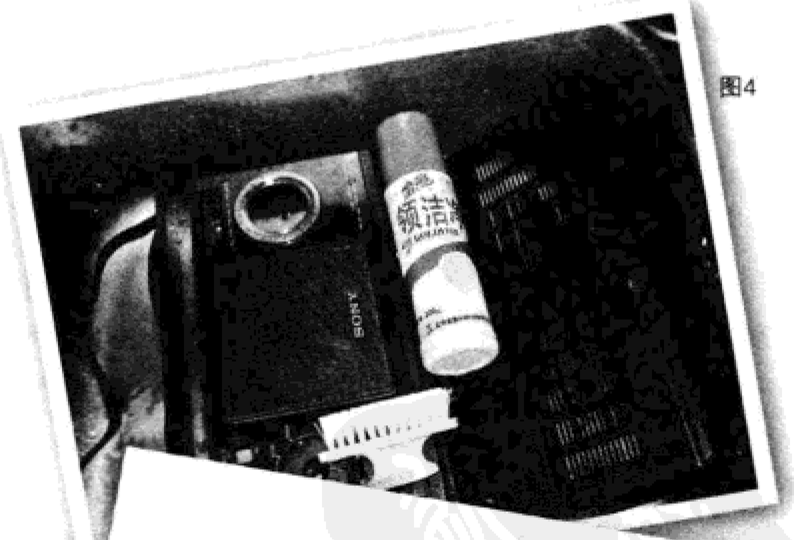


图4

图1

图2

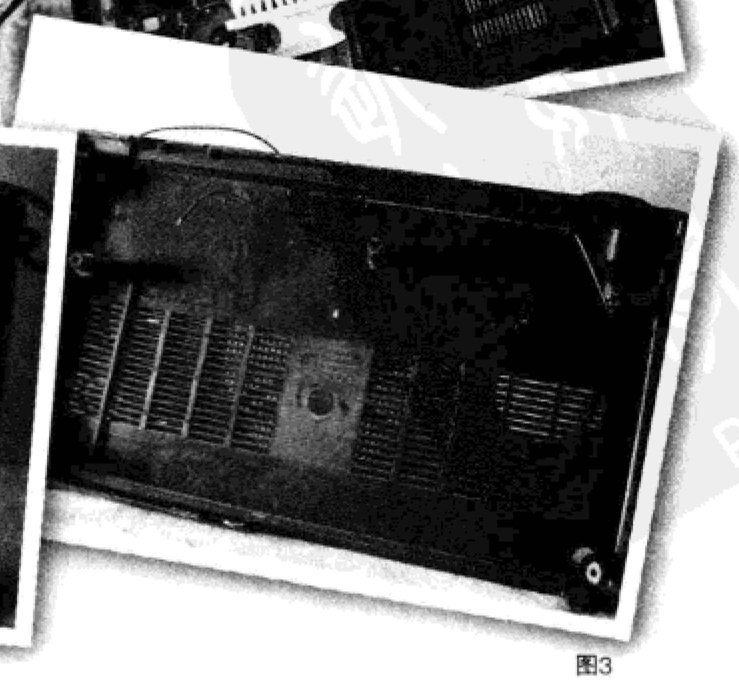


图3

图5

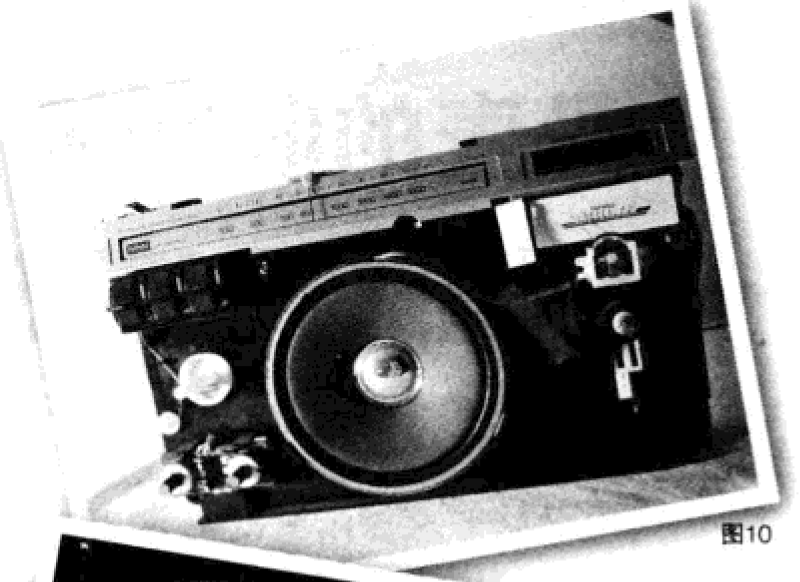


图10

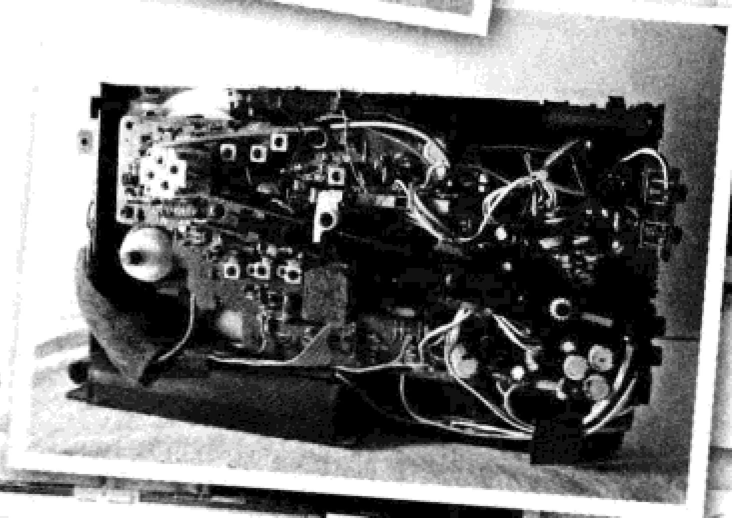


图6

图9

图7

图8

以在拆前一定要做好充分准备，接线头要做好记号或照相存档，以便组装时不会出错（图2、图3）。

拆下的机壳要用毛刷和清洁剂来清洗，注意前面板有字的地方不要刷得太用力，以防把字刷掉（图4）。

拆下机器上的小部件如：旋钮，电池盖等，可以用超生波清洗器来清洗，清洗时要加清洁剂以便把旋钮缝中的污垢清出（图5）。

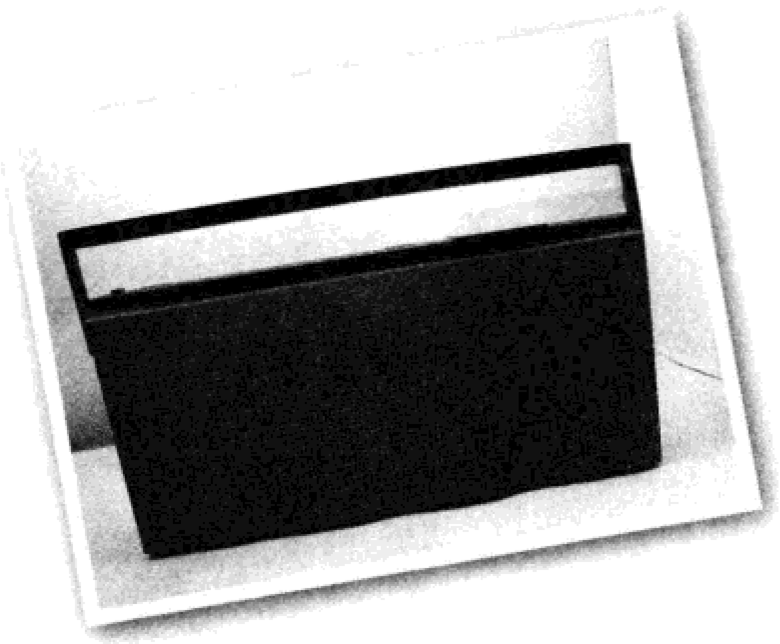
机芯最好用小毛刷和吸尘器来除尘，边刷边吸尘效果比较好（图6、图7、图8）。

机芯清洁完后，就要对各种开关和电位器继续清理了，一般简单的方法就是用触点清洁剂边喷边转动，这种方法只对触点接触不良的故障管用，但对于触点氧化严重或磨损严重的部件是不起多大作用的，这种故障需要解体清洁或换新零件（图9）。

机器全部清洁完后按原样组装 尤其是焊下来的接点一定不要焊错，接着就可以通电试机了（图10）。

一台老收音机经过这样的清洁打理，面貌就焕然一新了。

来自丹麦的收音机——BEOLIT 505

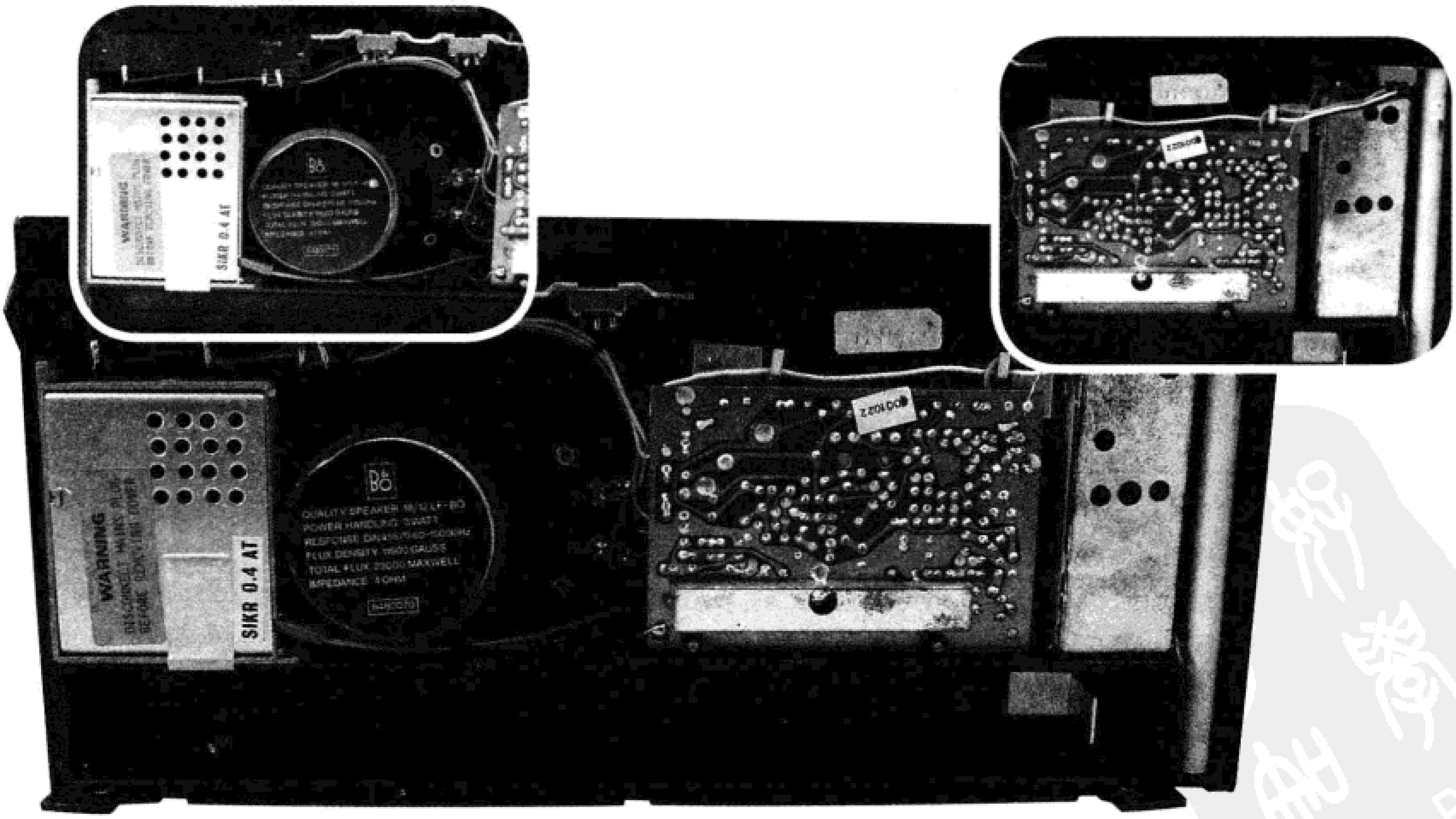


◎陈祖德

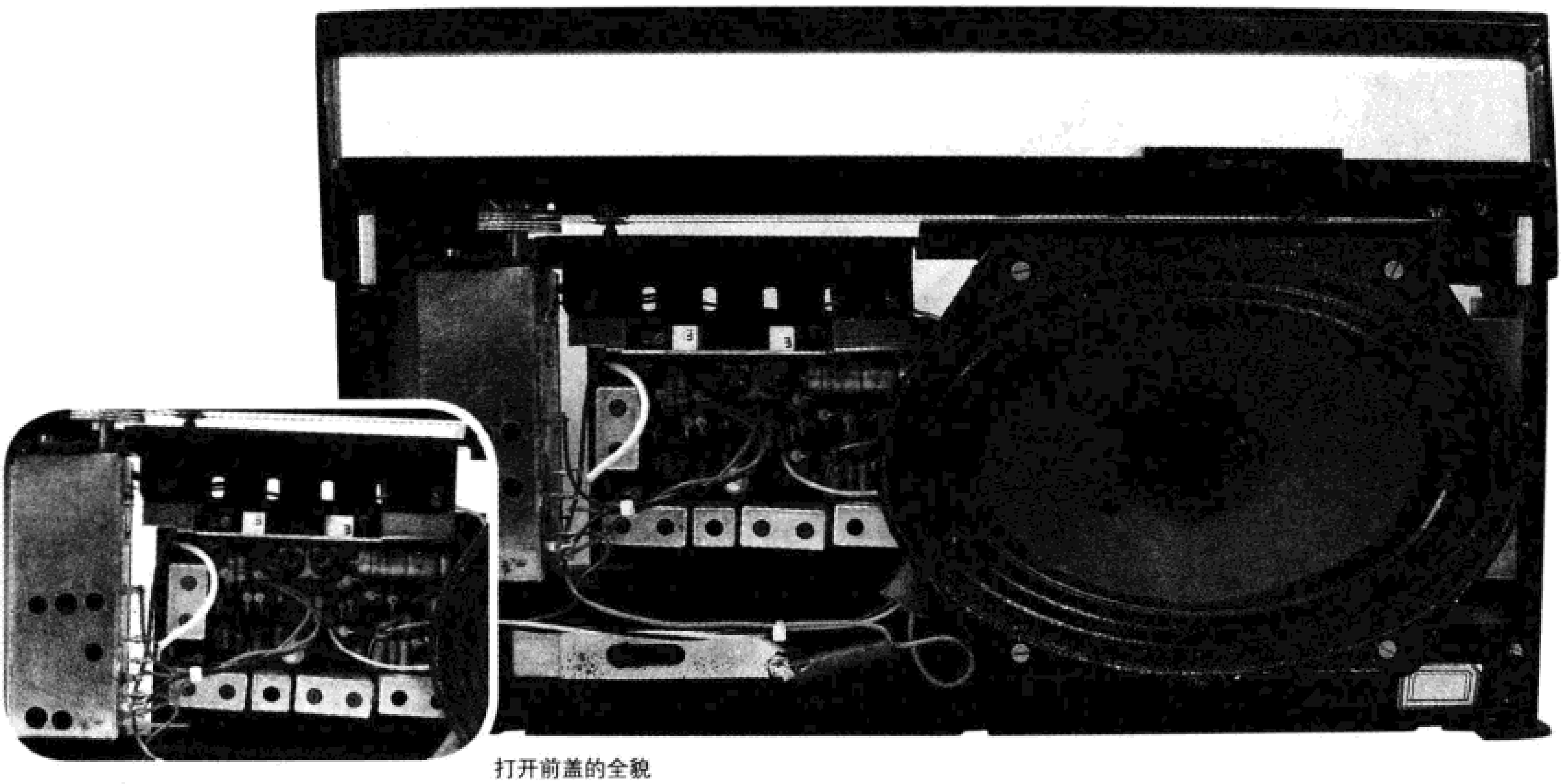
BEOLIT 505收音机是一款出自丹麦最著名的家电厂家——BANG &OLUFSEN 的产品，机器的外观是由设计界的传奇人物JACOB JENSEN 先生亲自操刀设计，JACOB JENSEN 先生在过去的50年中所设计的产品已经超过了500多种，曾得到过100多个设计大奖。

BEOLIT 505 收音机是1975—1981年的产品，由9只晶体管组成，只有一个调频接收波段（88~104 MHz），机器外壳的前、后面板有红,白,黑三种颜色可供爱好者选择。

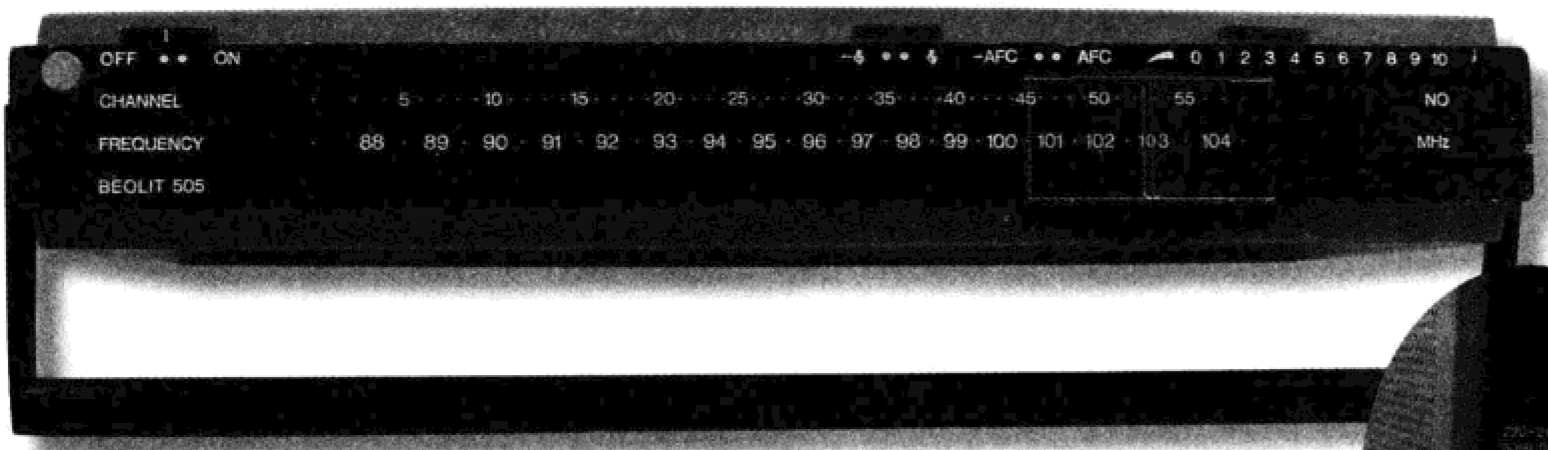
第一眼看见这款收音机就被它独特的设计吸引了，机器前、后两面都是一样的面孔、纤薄的机身、新颖的调谐机构、不同颜色的搭配，不愧是出自大师之手呀。



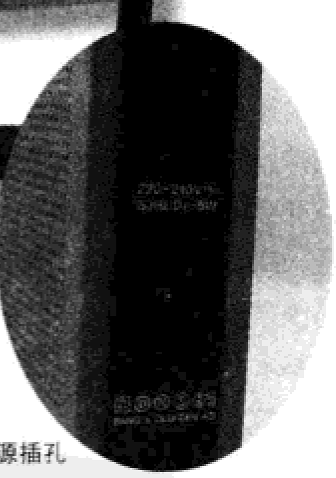
打开后盖的全貌



打开前盖的全貌



收音机的顶部可见各种功能



侧面的外接电源插孔

这款收音机是厂家不惜工本设计的，除了前、后面板使用塑料材料外，其余部分都是用的铝合金材料，连机器内部的电源部件和高频头部件也是用铝合金材料做的屏蔽盒来屏蔽，扬声器是该公司在挪威的专业扬声器厂家——西雅士定制的。

该机的外壳拆卸非常简单，不用任何工具，只在机器的下部一推就可以很快地拿下前、后面板，换电池和检修机器非常方便。打开外壳看看机器的内部构造，除了屏蔽盒的部件外，只有一小块电路板在其中，电路非常简洁，显示了SIMPLE IS BEST 的风格。

看完了收音机的外表和内部的构造，再接上电源听一听这款收音机的音效吧，当把机器的频率调到北京音乐台97.4MHz时,收音机里发出的天籁之音简直就让你不敢相信这是从这么一款小巧的机器里发出的。

一直听说BANG &OLUFSEN 的产品在国际上非常有名，但由于是“阳春白雪”，一直没有机会接触，这次买回这款收音机才真正感受到BANG &OLUFSEN产品的独到之处，如果你是收音机发烧友的话，建议买一台这个公司的产品，一定会物有所值的。

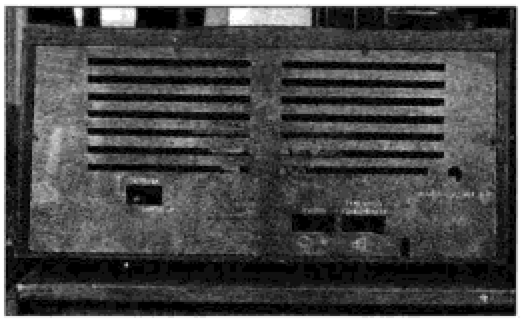
国产十大台式电子管名机 8 ——牡丹911

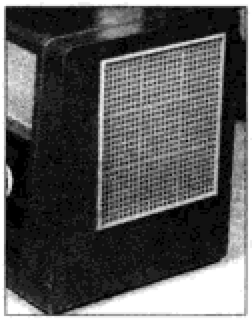
◎陈汉燕　徐蜀

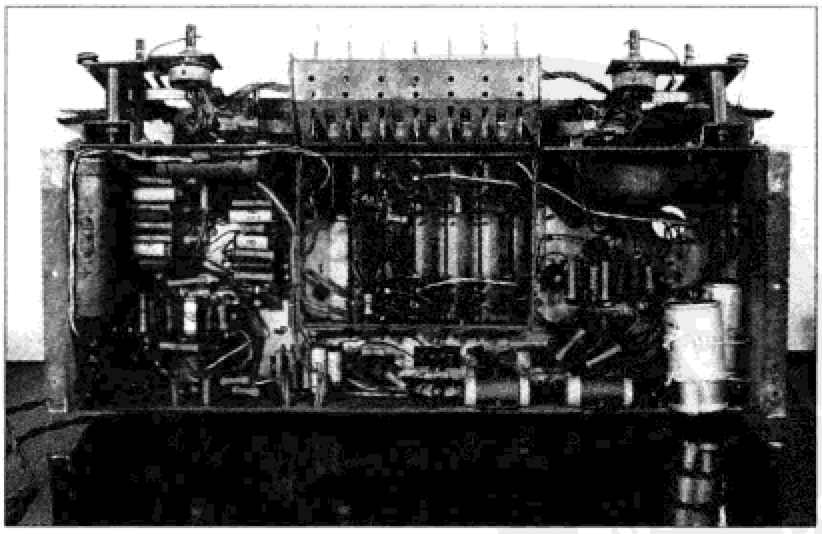
牡丹牌911型九灯电子管收音机是北京无线电厂1958年的产品。北京无线电厂成立于1956年3月，初名为公私合营北京广播器材厂。1958年7月改为国营企业，更名为北京无线电器材厂。1959年1月更名北京电子仪器厂。1964年6月起更名为北京无线电厂。北京无线电厂成立之初便是北京市的骨干电子企业，同时也是当时国家收音机研制生产的三大基地之一，另两家是南京无线电厂和上海广播器材厂。国标特级、一级电子管收音机基本上都出自上述这三家无线电厂。

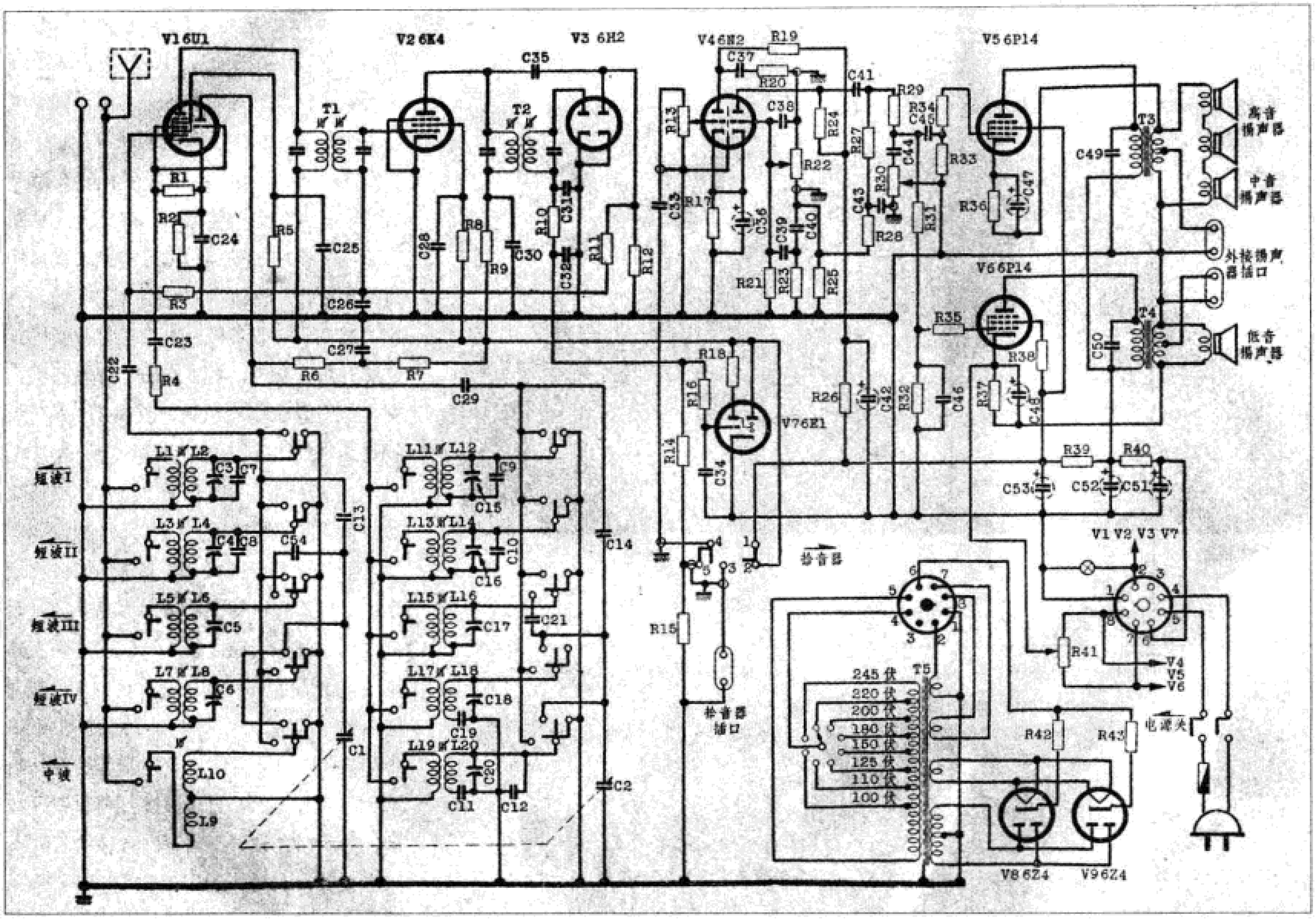
20 世纪 50 年代，广播是传播知识、思想宣传、文化娱乐的主要方式，因此政府对收音机的研制和生产极为重视，在大力普及以满足广大人民群众需求的同时，还集中国内的科研制造力量，研发高档收音机产品。高档收音机的生产，一方面是满足有关政府机构、高级饭店和对外出口换取外汇的需要，另一方面也有利于提升国家的形象。牡丹 911 就是在这一历史背景下诞生的。

牡丹911型收音机前后出过3个版本。第一版911是1958年十一国庆节的献礼产品，同时参加了当年第二次广州对外贸易展览会。这3个版本的电路基本相同，只是调节和显示结构有所区别，并且第一版的整机尺寸小于此后的机型。牡丹911的研制，目标是赶超飞利浦同类型的收音机，因此从外观造型到电路设计和内部结构诸方面都格外用心。


背面


侧喇叭窗

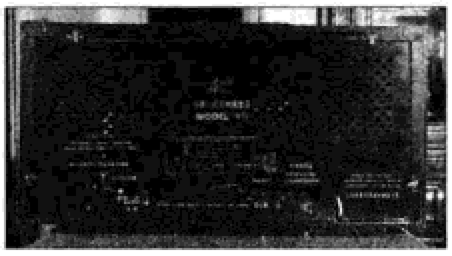

底板

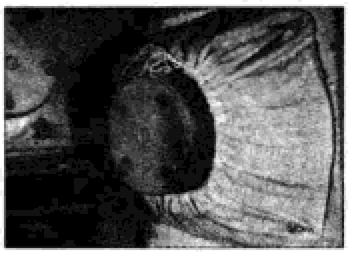


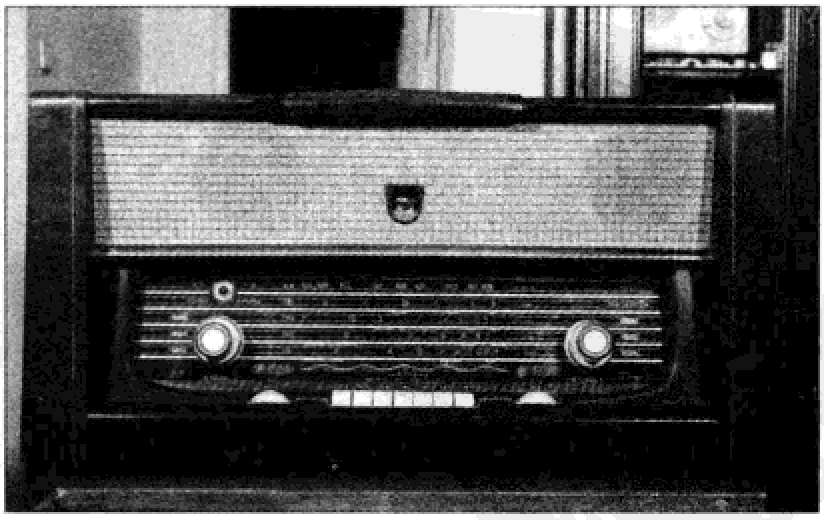
电路图

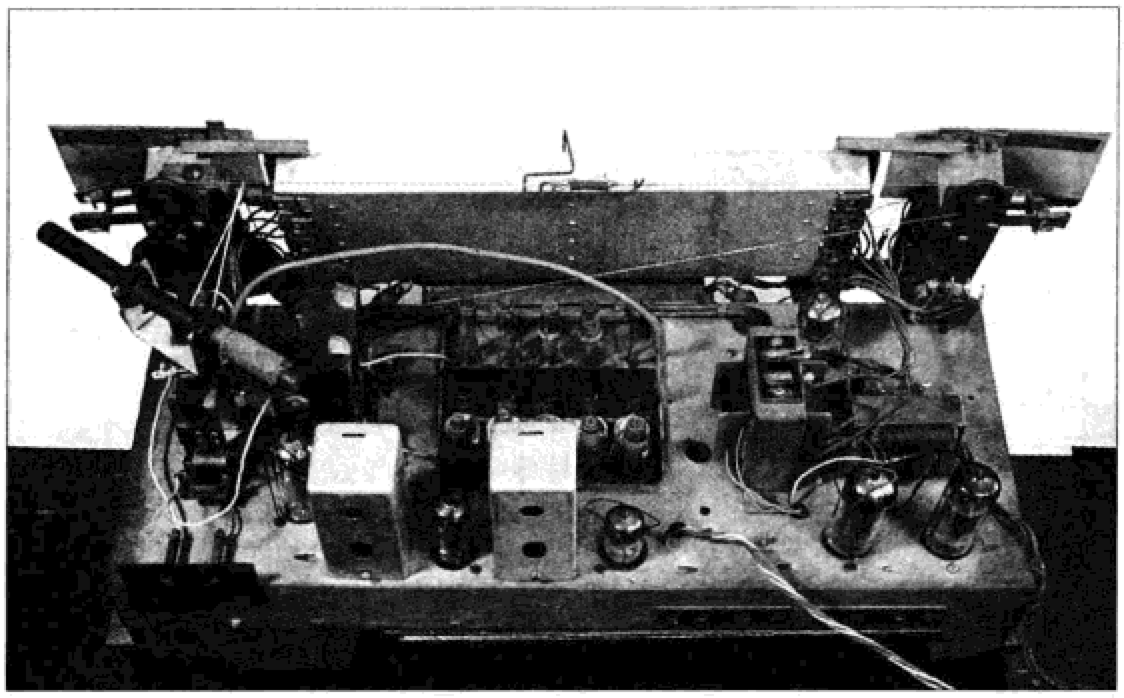
牡丹911的造型具有明显的欧式风格，尤其是第一版，雍容华贵，气度不凡。整机尺寸：上宽68cm、下宽70cm、机箱高33.8cm、上部厚度26.5cm、下部厚度28.6cm。外观的亮点有3处：（1）顶部有一宽22cm中间起脊的凸起；（2）猫眼罩有一铜质镂空装饰片；（3）特大面积的度盘（高13.8cm，喇叭布高仅11.4cm）。这3个亮点都可称作点睛之笔，而且度盘上字符较少，显得简洁明快，比起911以后的版本，及许多高档洋机充满字符的度盘来说，更显大气。牡丹911两侧的喇叭窗不仅尺寸大，还采用了非常细密的木质隔栅，美观实用，也更显档次。

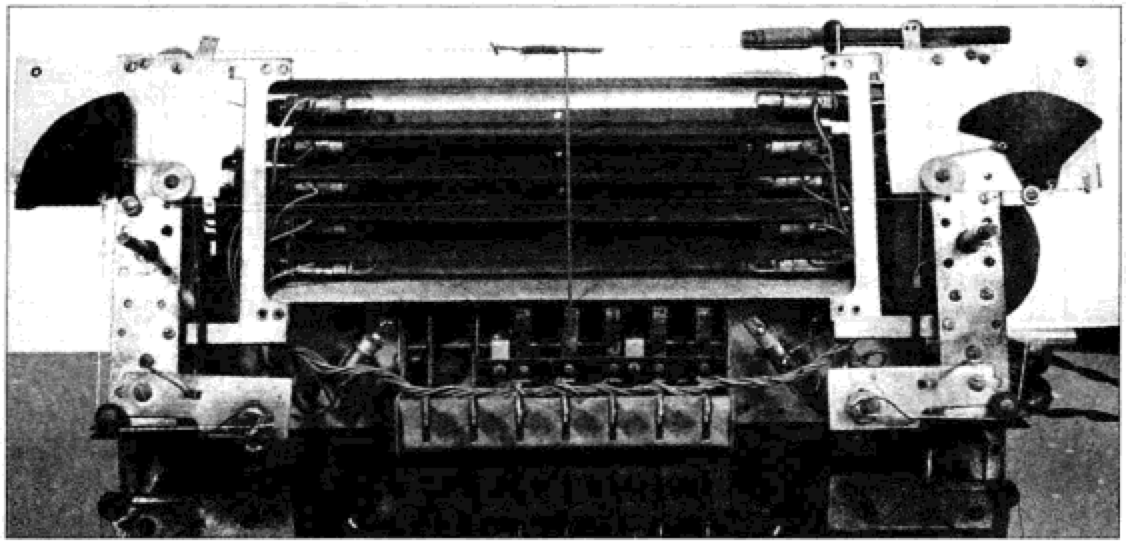
牡丹911的电路、内部结构与装备也毫不含糊，除具有一般一级机的铝箔天线、旋转磁棒、按键和独立的音调设置外，还采用了高、低音双频带放大电路，极大地改善了收音机的音质，这在国产高级电子管收音机中是唯一的一例。据《无线电》杂志1959年9期记载，有关方面用同一台仪器，对牡丹911和1958、1957年飞利浦的八灯、九灯收音机的频率响应电压曲线进行测试，911毫不逊色。另外，911的调节和显示结构在国产收音机中也是最为复杂和精密的，它的5个波段都有各自的灯光指示，

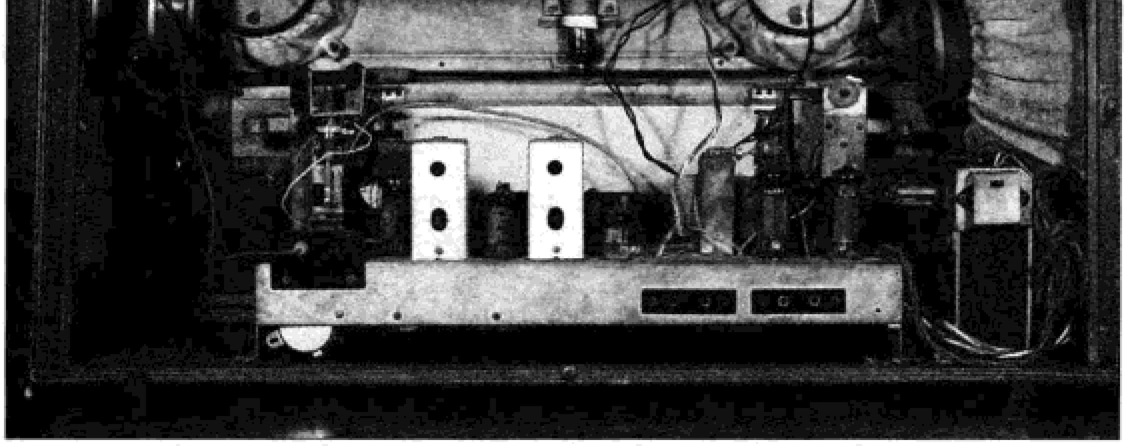

新版911后板


右侧主扬声器


新版911正面


机芯后俯视图

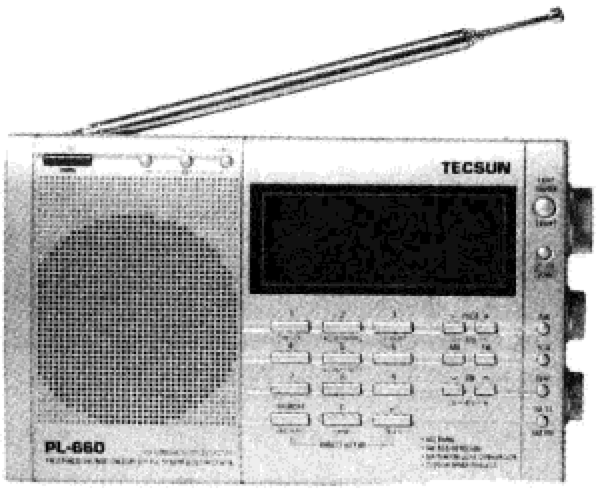

机芯正面


内部结构

高、低音调也采用了光学显示。再有，911的按键开关接通后即行复位，既美观又延长了开关的寿命，这一功能，即便国外的高级收音机也没有全部采用。

在1958年为了给国庆献礼，北京无线电厂经过20天的苦战，试制成十几种新产品，并参加了在广州举行的第二次对外贸易展览会。这些产品包括交流四灯收音机、直流五灯收音机、直流七灯收音机、交流五灯、交流六灯、交流七灯收音机、交流九灯高级收音机等。牡丹911第一版就是这20天中试制出来的十几种收音机之一。由于时间有些仓促，直接的反映就是收音机的材料选用、调节结构的设计与工艺都存在着一些问题。如911的机芯很重，但机箱材料却很单薄，容易变形，后背板的制作很粗糙，散热孔似乎是手工开凿的，上面还留有铅笔画的规矩线；音调电位器的固定方式不科学，当机芯与机箱中的橡胶垫老化后，音调片状旋纽便开始承受巨大的压力，直至破碎；再有就是音调的显示结构设计不合理，致使调节时不大顺畅等。另外，第一版911的电子管采用胶木片管座，材质极差，笔者手中这台机器到手时根本不能开机（开机即短路打火）。经查，全部整流管、功放管管座均已烧焦短路。其实，1958年已经有了性能可靠的瓷制和胶木管座，作为高档九灯收音机，应择优选用。到了第三版，情况有了很大的改观：机箱的尺寸大了（宽度、高度、厚度都增加了1~2cm），材料加厚了，金属底板下又增加了一块很厚的木制底板，音调显示窗距离音调电位器近了，调节机构的设计与工艺也改进了。收音机的可靠性得到了改善。当然，从第二版开始，911度盘上的字符明显增多，显得有些凌乱。由于机箱高度增加的部分全部放到了度盘以上的地方，度盘的比例变小了，又取消了猫眼罩上的铜片装饰，整体外观反不如第一版漂亮了。1960年以后，该厂又推出了机箱造型较为简洁的牡丹911B、911B-TH型，电路部分基本一样。

◎陈平



跨越经典
——TECSUN PL-660与SONY ICF-SW7600GR
对比评测

TECSUN（德生）于2010年底推出PL-660全波段数字调谐收音机，该机作为目前国内高端的便携式广播接收设备，一上市就引起爱好者的热议。本文把TECSUN PL-660和SONY ICF-SW7600GR作详尽对比评测，让爱好者全面认识、了解PL-660。

在广播爱好者群中广泛流传的便携式收音机“三大经典”，当属SONY（索尼）ICF-SW7600GR、SANGEAN（山进）ATS-909和GRUNDIG（根德）Yacht Boy 400。这三部收音机各有千秋，其中SONY ICF-SW7600GR在2005年PASSPORT收音器材排行榜上以3.125颗星排在“三大经典”之首。近年来国内收音机产家也不甘示弱，推陈出新，特别是TECSUN PL-660，剑指SONY ICF-SW7600GR，大有和SONY ICF-SW7600GR一决高低的气势。在此笔者就这两部收音机做全面的对比评测。

基本数据

		PL-660	ICF-SW7600GR	说明
波段及步进	调频	76/87/87.5~108MHz 0.1/0.01MHz步进	76~108MHz 0.05MHz步进	PL-660调频覆盖频率可选。
	长波	100~519kHz 9/1kHz步进	150~29999kHz 步进同左	ICF-SW7600GR长波、中波、短波一体化设计，统称“AM”
	中波	522~1620kHz 10/9/1kHz步进		
	短波	1711~29999kHz 5/1kHz步进		
	短波单边带	LSB/USB 5/1KHz步进		
	航空波段	118~137MHz 0.025/0.001kHz步进		
搜台方式及存台数	搜台方式	自动扫描、手动调谐、数字输入频率、自动搜存（ATS）、自动扫描已存电台、手动搜索已存电台、数字输入已存序号	自动扫描、手动调谐、数字输入频率、自动扫描已存电台、手动搜索已存电台	
	存台数	2000个 按波段存储800个：调频100，长波100，中波100，短波200，短波单边带200，航空波段100。 跨波段存储1200个：100个×12页	跨波段存储100个：10个×10页。	
电路架构	调频	5连调谐	3连调谐	
	调幅	二次变频+同步检波+带宽选择	二次变频+同步检波	ICF-SW7600GR调幅带宽设计为窄带
		第一中频55.845MHz，第二中频455kHz		
扬声器及输出功率		77mm/8Ω 450mW	77mm/16Ω 380mW	
供电方式		4节5号电池/外接电源		
款式、尺寸及重量		横版（宽、高、厚） 187mm×114mm×33mm 470g	横版（宽、高、厚） 190mm×119mm×35mm 536g	
随机附件		外接电源兼充电器、充电电池、外接天线、耳塞、皮套	外接天线、皮套	
价格		约535元	约1135元	

备注：SONY ICF-SW7600GR有多个版本，文中特指中国版。

外观与工艺对比

外观设计： PL-660的外观借鉴了GRUNDIG E10的设计，面板略带从上到下的圆弧，按键旋钮大体按功能类别排列，易于上手，整机设计稳重大气，ICF-SW7600GR是在ICF-SW7600G的基础上加以改进，面板上的按钮位置看似随意，使用中却丝毫不感到混乱，整机设计清爽活泼（图1）。

外部工艺： PL-660的外在工艺达到了较高水平，整机接缝整齐划一，没有毛刺，按键旋钮拨钮行程适中，手感比较舒适，特别是调谐钮、SSB拍频调节钮、音量旋钮调节流畅又带有均匀的阻尼，使用上是一种享受，当然，要是按键的粘滞感小一点，PL-660会更完美。ICF-SW7600GR如一件艺术品，按键手感极好，拨钮干净利落，铝合金面板、“PAGE”“SCAN”键、水晶般清澈的LCD显示窗更是神来之笔，唯独SSB拍频调节钮、音量旋钮太过顺滑，不好控制。

内部工艺： 打开两机后背，PL-660使用了多个屏蔽罩以使各级之间的串扰减少到最低，显然这是一款用心之作，ICF-SW7600GR元件排列整齐，焊点饱满，体现了日本机器成熟的工业设计和一如既往的优良做工（图2）。

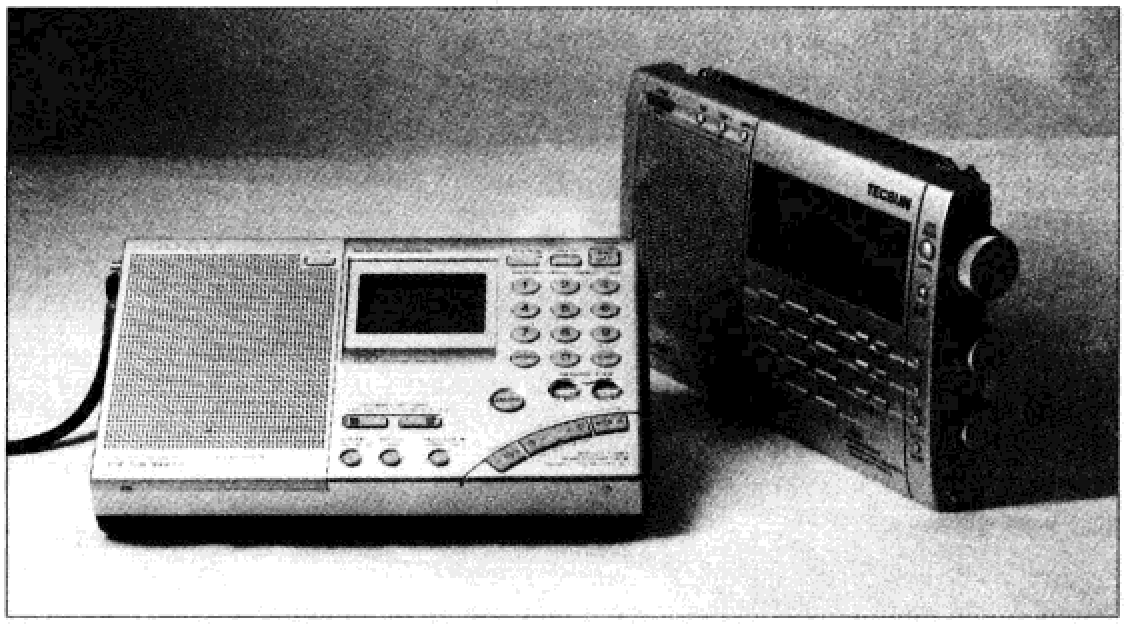


图1

对比结果： 两机外形设计风格迥然，PL-660 的外在工艺总体上略逊一筹，但也有胜过之处，两机内部工艺各有千秋。

接收效果对比

太好或太坏的电磁环境都有可能使两机的对比结果不明显，为此笔者选择了位于城乡结合部的工作单位作为评测场地。这里位于四层楼，电磁环境一般，主要干扰源有机动车、手机发射台、电脑、电器。在没有特殊说明的情况下，两机尽可能地设置了相同的收听条件，如天线长度和角度一致等，保证对比结果的公平客观。

1. 调频

灵敏度： 使用本机天线，两机灵敏度均令人满意，都可收到100.1MHz的中国台湾ICRT电台并解调出立体声，相比之下PL-660的底噪更小一些，清晰度更高一些。关闭PL-660的立体声效果用耳机收听，虽然只有单声道效果，但噪声更小，而ICF-SW7600GR因为没有立体声开关，全凭机器自动选择，噪声严重了些。

选择性： 接收本地强信号电台，PL-660在中心频率的±0.2MHz外均能把电台残声消除干净，ICF-SW7600GR则延伸到±0.3MHz之外。每个电台所占的频宽越窄，就意味着频段内能够容纳更多的电台，抗临频干扰效果越好。PL-660调频选择性能如此优越，得益于它采用5连调谐。

抗过载： 使用外接电视天线收听本地强台，在关闭天线衰减功能的情况下，PL-660和ICF-SW7600GR均无过载现象，体现了两机绝对灵敏度和相对灵敏度的和谐统一。

抗电磁干扰： 由于调频广播不容易受到电磁干扰，故笔者没有进行这方面的比试。

对比结果： PL-660的调频灵敏度略高于ICF-SW7600GR，关闭立体声效果后优势更明显，PL-660的调频选择性明显高于ICF-SW7600GR；两机抗过载能力均为优秀。

2. 中波

灵敏度： 使用本机磁棒天线收听，PL-660的中波灵敏度和ICF-SW7600GR不分仲伯。但PL-660的背景不如ICF-SW7600GR干净，底噪比ICF-SW7600GR略大了一点，对微弱电台接收的可懂度造成轻微的负面影响。

选择性： 两机选择性都非常优秀。在笔者当地，801kHz和810kHz处各能收到一个中等强度的电台，仅一个标准步进之差的电台接收能做到井水不犯河水，说明两机临频选择性都达到了很高的水平。

抗过载： 笔者使用TECSUN AN-100中波天线辅助测试（图3），先选择1440kHz强电台，接着调整TECSUN AN-100旋钮让电波谐振到最强，再分别细听，两机都不存在过载现象。在对比测试中发现一个有意思的现象：使用TECSUN AN-100外接天线时，PL-660的提升效果比ICF-SW7600GR来得明显，看来PL-660更适合使用外接天线来进行中波远程接收。

抗电磁干扰： 在没有明显外来干扰源的情况下，ICF-SW7600GR的背景显得

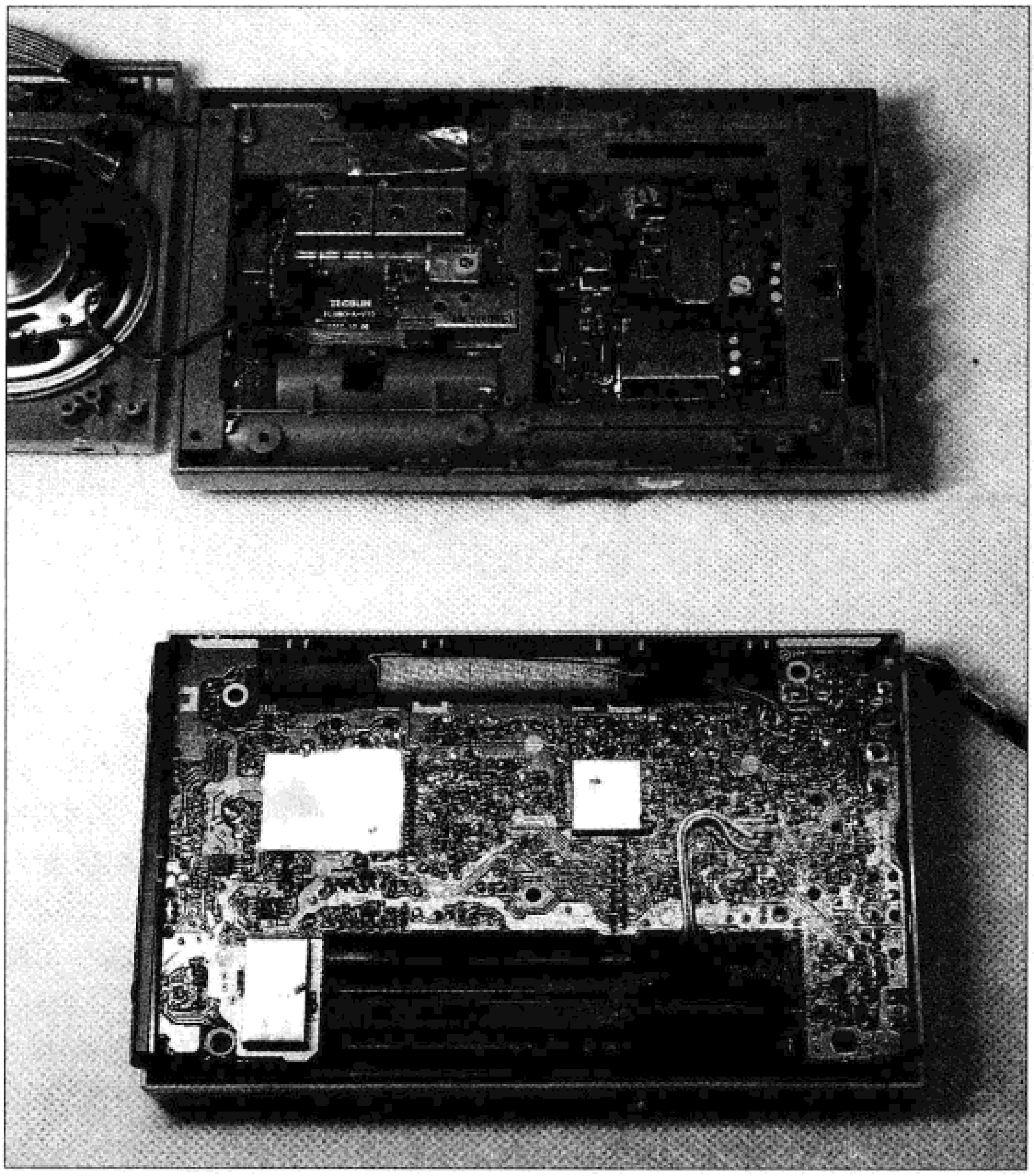


图2

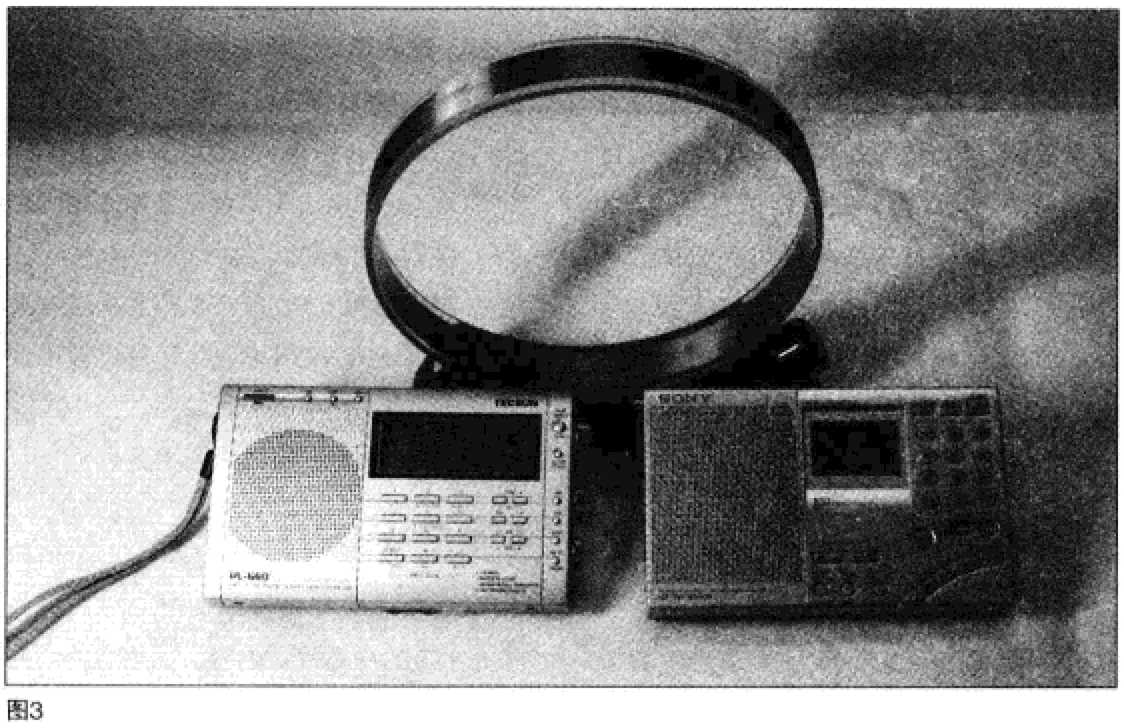


图3

更为宁静，这说明ICF-SW7600GR元件的噪声系数较低，线路设计也很成熟，但在开着电器的房间内，PL-660抗近距离电磁干扰的效果远远胜出。以笔者办公室为例：PL-660靠近电脑屏幕正前方0.8米处才听到干扰声，但把ICF-SW7600GR拿到屏幕前约2米处就有干扰声了，可见PL-660的线路屏蔽设计能有效减轻外部干扰。

抗镜像：二次变频电路的目的就是用来消灭镜像的，两机都采用了这个技术，就连第一中频、第二中频频率都一样。在测试中，两机都没有镜像干扰。

同步检波：普通收音机对双边带检波同时解调，还原出上下边带的声音信号。但当相邻频率有强大的杂音信号或广播信号时，就会串扰你正在接收的频率的某个边带。同步检波就是从所收听频率的上下边带中，选择出其中不受邻频干扰的那个边带还原声音。因此，同步检波具有更好的抑制邻频干扰能力。同步检波和带宽选择的目的都在于减轻临频干扰，但作用机理不同（同步检波另一作用在下文中说明）。判断同步检波效果的标准：一是消除临频干扰的效果，二是对音质的影响，三是对弱信号的锁定能力，中波以前两者为主，短波以后两者为主。笔者当地549kHz和558kHz的两个强台互相串扰，此时开启两机的同步检波功能，549kHz选择LSB边带收听，558kHz选择USB边带收听，两个台便清晰地剥离出来。两机开启同步检波后对音质影响不大，在PL-660上首次采用的同步检波技术在改善中波接收方面令人满意。

对比结果：PL-660本机底噪不如ICF-SW7600GR宁静，但PL-660抗电磁干扰效果比ICF-SW7600GR明显。其他方面，两机均表现出色。

3. 短波

灵敏度：PL-660短波灵敏度竟然超越了当年三大经典便携机中拥有最佳短

波接收能力的ICF-SW7600GR。接收同一频率时，PL-660听感较为清晰而ICF-SW7600GR背景噪声较为严重，可以听出这种背景干扰是伴随信号而来的，并非机内元件干扰或近距离电气干扰。

选择性：和一般的收音机相比，两机临频选择性均为中上水平，当然相邻两个强台还是有一些相互干扰，如7330kHz和7335kHz、7410kHz和7415kHz。

抗过载：使用本机自带天线，波段内没有任何广播信号过载，再使用DEGEN(德劲)31MS中短波有源天线进行对比测试（图4），在收听国内强台时都

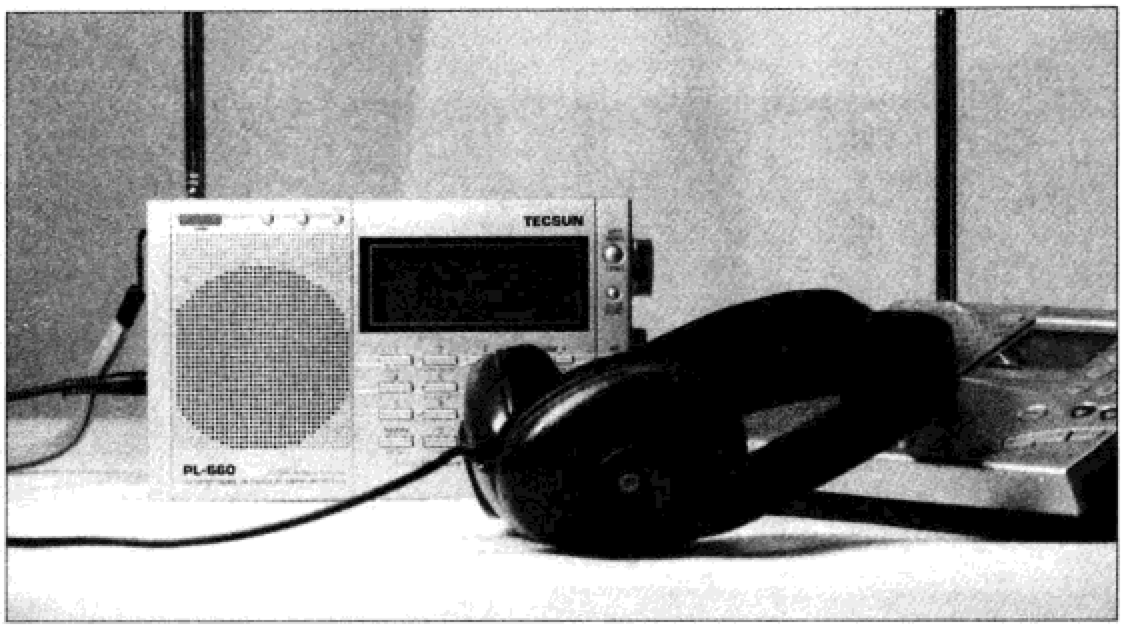


图6

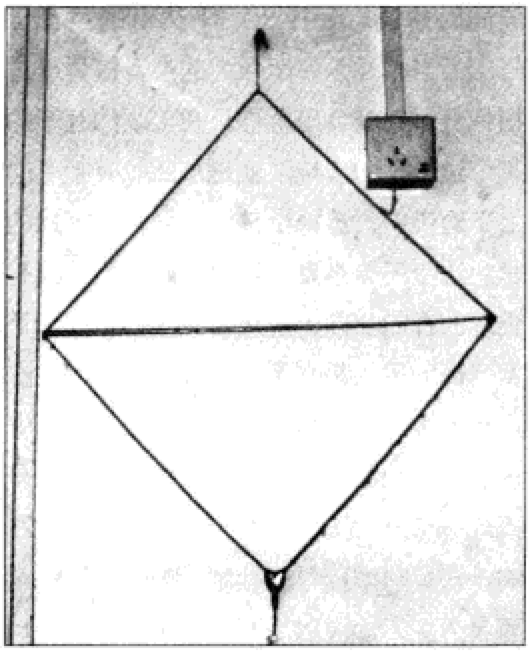


图4

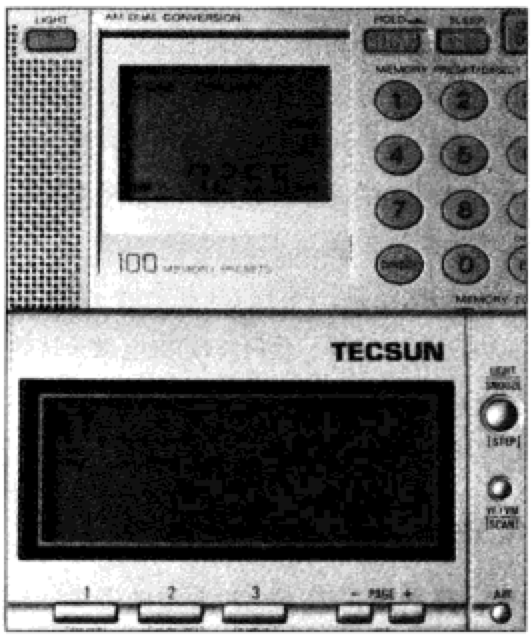


图5

存在过载现象，表现为电台声音好像憋在喉咙里出不来，偶尔又伴有异响，不过两机均带有短波信号衰减功能，万一发生过载现象，可打开衰减开关或把天线适当缩短。

抗信号衰弱：同步检波还可改善接收的稳定性，减小短波常见的信号起伏，从显示屏上看，PL-660和ICF-SW7600GR对弱信号的锁定都很好，屏幕上的“SYNC”符号几乎不会闪烁（闪烁就意味着失锁）（图5）。但在实际收听中感觉打开同步检波后，短波信号平稳度改善不多。关闭同步检波恢复常规收听，发现ICF-SW7600GR的信号起伏较小，当广播信号开始衰弱时，ICF-SW7600GR的应对速度更快，也就是说ICF-SW7600GR的自动增益调整（AGC）做得更好。

抗镜像：和中波一样不存在镜像，不再赘述。

对比结果：PL-660短波灵敏度胜过ICF-SW7600GR，但ICF-SW7600GR比PL-660收得稳定些。

4. 短波单边带

易用度：部分广播爱好者对短波单边带不是很感兴趣，除了单边带内容单一、没有守株待兔的耐心和时间以外，还和短波单边带很难调到良好的收听状态有关。PL-660的拍频旋钮在±0处有一个固定点，当搜索到单边带电台时，只要把拍频旋钮在固定点附近稍微调个来回，就很容易实现较佳的收听效果。相比之下ICF-SW7600GR的拍频旋钮没有固定点，对新手来说，往往是转到头了才急忙往回旋，反反复复，很容易屡次错过最佳收听点。PL-660的拍频旋钮固定点设计，极大地方便了单边带的入门收听。

清晰度：笔者先收信号较强的广州船台（13107kHz/USB），PL-660借助设计上的优势，很快就找到较佳的接收效果，笔者再收信号较弱的国内火腿电台（7053kHz/LSB），用了足够的耐心把两机分别调到最好的状态，此时ICF-SW7600GR的单边带语音更清晰，相比之下PL-660稍觉含混。

对比结果：PL-660容易上手但效果略差，ICF-SW7600GR效果较好但较难调到最佳状态，两者各有优缺点。至于灵敏度、底噪之类的对比结果差不多。

5. 航空波段

航空波段和短波单边带一样，都属于非主流的广播收听内容。如果您的所在城市有机场，因飞机在起降时的联络关

系，您能常收听到塔台和飞机之间的通话，如果您所在的城市没有机场，那只能收听领空飞机和地面间的联络了，这更有些守株待兔的味道，也正是这种不确定性使一些广播爱好者乐此不疲。因为ICF-SW7600GR没有航空波段，笔者无从对比，但感觉PL-660的航空波段接收清晰，噪声很低，单纯地审视PL-660航空波段接收效果，笔者对它的满意程度超过了短波单边带接收。

6. 长波

国内没有长波广播，当地也收不到任何长波信号，故长波接收对比省略。

音质对比

1. 扬声器音质

PL-660的声音很有气势，低音丰满而不含糊，人声清晰而不单薄，高音谈不上细腻，但把主持人的气息演绎得有板有眼，您很难想象77mm的小扬声器能发出有如此魄力的声音。相比之下ICF-SW7600GR的音质则让人失望，音色严重偏暗，低音干瘪如敲木头，人声毫无感情，只有高音还比较细腻。反思ICF-SW7600GR，为了凸显同步检波的抗邻频干扰效果，调幅带宽被设计为窄带且不可更改，导致人声气息全无，糟糕的扬声器也使调频的优美音质几乎丧失殆尽。在扬声器音质对比中，PL-660把ICF-SW7600GR远远地甩在了后面。

2. 耳机音质

弃PL-660的随机耳塞不用，笔者选用了拜亚动力DT231G耳机做“裁判”（图6）。DT231G虽是Hi-Fi设计，但以朴实无华、忠实还原的特点，亦能胜任监听。PL-660的耳机音质也是可圈可点的，属于阳刚雄壮的一类，很有力度，唯独整体音色偏硬朗了些。ICF-SW7600GR则尽显婉约，低音柔而不软，人声甜美，特别是高频，晶莹剔透，颗颗音符就在您的耳边蹦跳。更重要的一点，ICF-SW7600GR的调频信噪比非常高，音乐人声背景宁静，相比之下PL-660信噪比就逊色一些。ICF-SW7600GR的耳机音质胜在干净细腻，这也是索尼收音机的共性优点。

对比结果：扬声器音质 PL-660 远远胜出，耳机音质 ICF-SW7600GR 略高一筹。

3. 使用对比

收音机不但有“收”和“听”的乐趣，也有玩的乐趣。以下笔者把两机的特色功能分别罗列。

PL-660胜出的部分

（1）多了一个好玩的航空波段。

（2）多功能飞梭旋钮，手动搜台极为简便。

（3）外接天线接口对调频、短波都有效，更适合 BCL 接收。

（4）自动搜存（ATS）功能，让存台变得简单。

（5）2000 个频率存储，可以把电台一网打尽后按 2 小时一组收听。

（6）手动切换调频立体声 / 单声道，接收调频弱信号效果更好。

（7）调频 0.01MHz 精细步进，用于避开临频干扰，抵消中频误差。

（8）单边带拍频有 ±0 固定点。

（9）调幅宽窄带可选，兼顾音质和抗干扰。

（10）背景灯均匀，且可以自动 / 手动开关。

（11）直观的信号强度指示条。

（12）睡眠关机时间 1~120 分钟可调。

（13）操作便捷，任何功能都无需双手并用，大多数功能一键开启。

ICF-SW7600GR胜出的部分

（1）世界时间和夏令时查询。

（2）电台信号强度衰减连续可调。

（3）部分操作有“嘟嘟”的提示声。

（4）闹钟 / 广播双闹响。

（5）线路输出功能。

对比结果：PL-660功能更实用、操作更简便。

总结

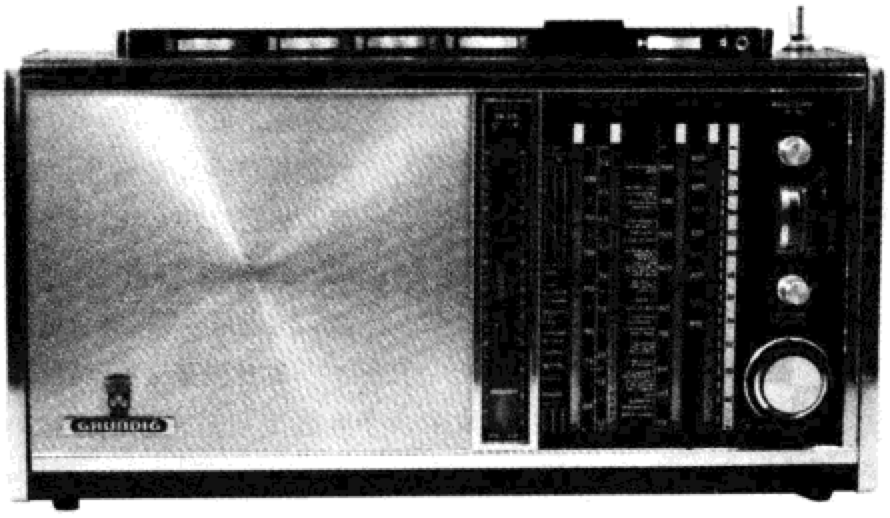
SONY ICF-SW7600GR长期占据国内中高端收音机市场，已成为经典的标志性产品。本次对比评测，TECSUN PL-660在各波段收听上已经和ICF-SW7600GR平分秋色，从而把ICF-SW7600GR请下了“神坛”。我们有底气地说，PL-660凭着自身的实力跨越了经典，我们更有底气地说，PL-660是国产收音机的“争气机”！

附：《PL-660和ICF-SW7600GR对比量化评分表》

		PL-660	ICF-SW7600GR	说明
外观工艺（15分）	外观美感	4	5	外观得分为主观感受
	外部工艺	3.5	4.5	
	内部工艺	5	5	各有特色
接收性能（30分）	调频	5	4	
	中波	4	4.5	
	短波	4.5	4.5	各有特色
	短波单边带	4	4	各有特色
	航空波段	4	/	ICF-SW7600GR没有航空波段
	长波	/	/	国内没有长波广播
音质（20分）	调频扬声器音质	4	3.5	
	调频耳机音质	4	5	
	调幅扬声器音质	4	3.5	
	调幅耳机音质	4	4.5	
功能（10分）		8.5	6	
操作界面（10分）		9	8	
性价比（15分）		13	10	
总评（100分）		80.5	72	

一款值得收藏的便携式半导体收音机

GRUNDIG SATELLIT 6001/210

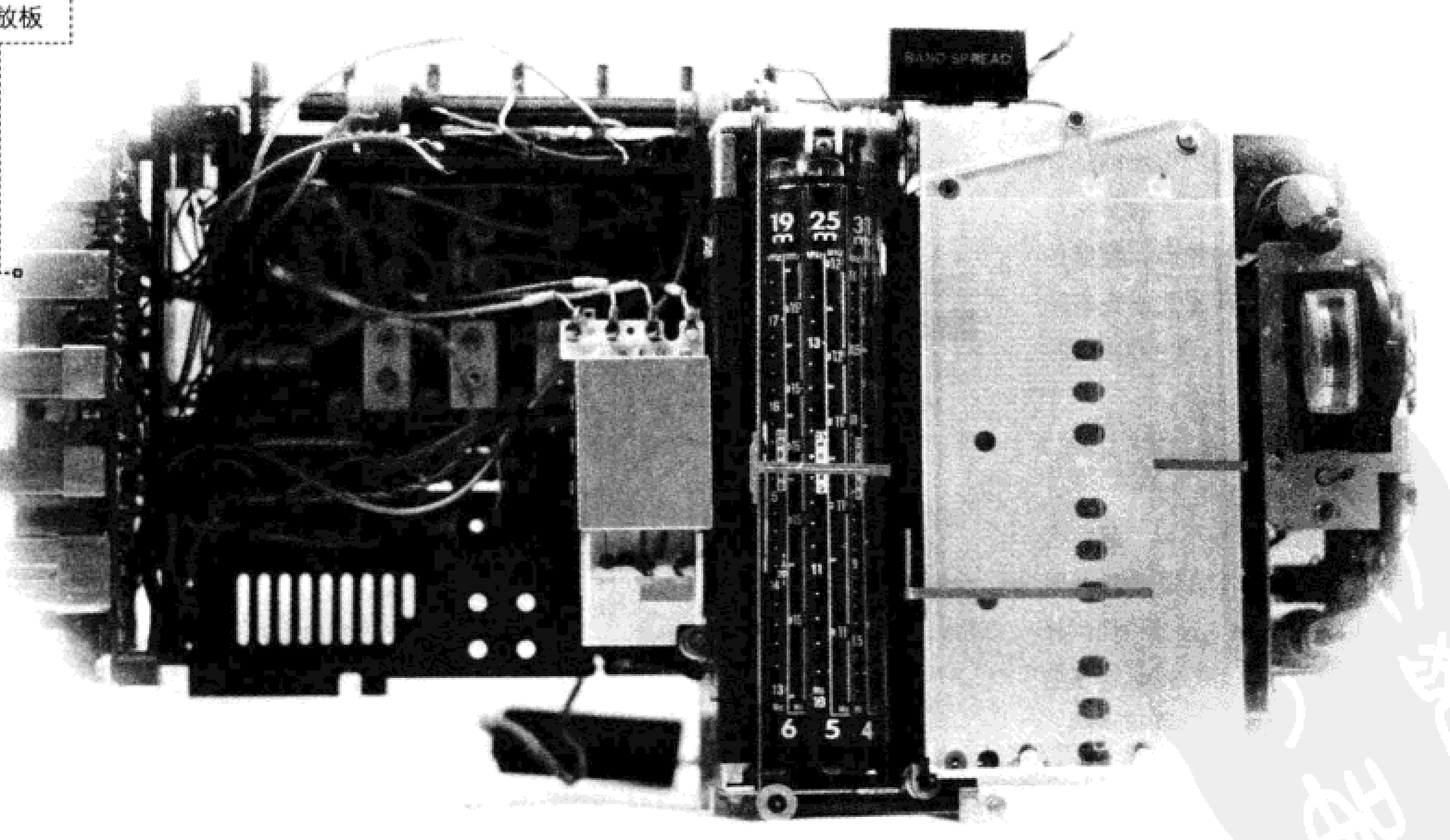


◎陈祖德

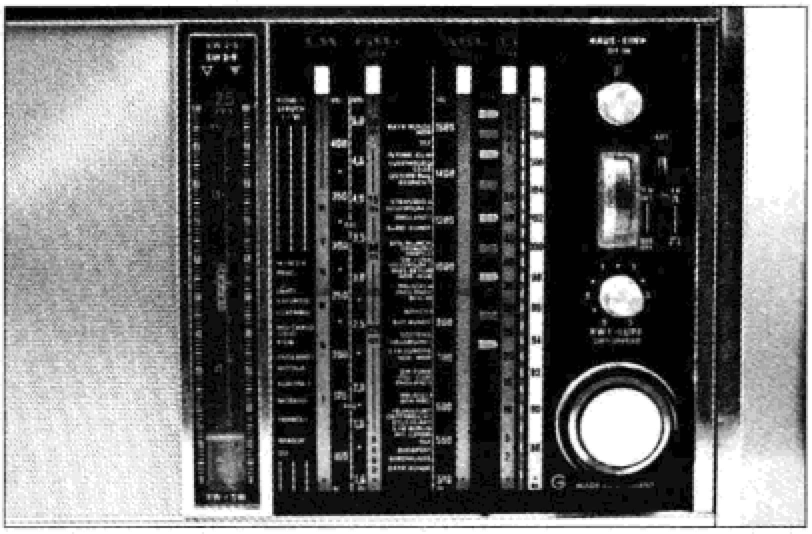
电子管收音机声音好听，但由于体积较大只能在家中收听，半导体收音机携带方便，但声音让人不敢恭维。自从GRUNDIG SATELLIT 6001/210（根德卫星系列6001/210）这款机器问世后就改变了人们对便携式半导体收音机的看法。

GRUNDIG SATELLIT 6001/210收音机是根德公司1969—1971年生产的。全机共有12个波段，FM（87~108 MHz），LM、MW（550~1650kHz），SW（1~9波段），其中短波（2~9）的波段带有波段展宽功能（用一组开关转换），频率覆盖了短波全段。此机共用了20个晶体三极管和15个晶体二极管，220V交流电和9V直流电两用。

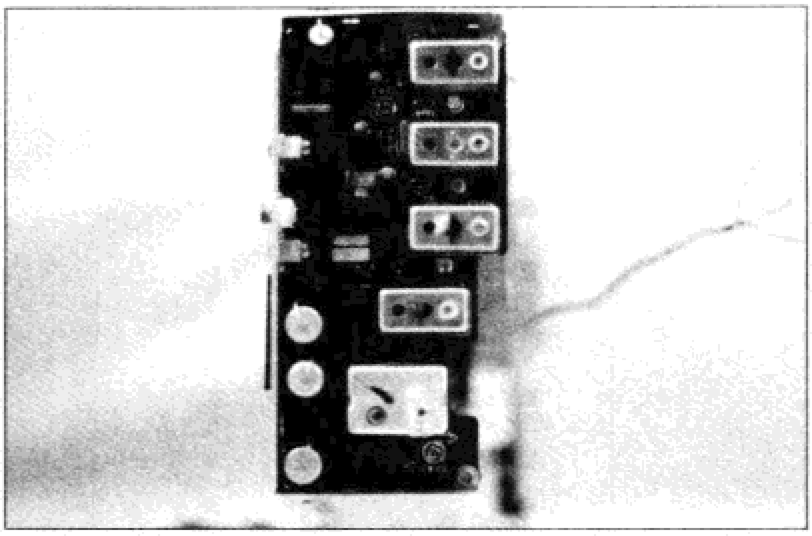
机器的外壳是用木头制作的，外表包裹着人造革和不锈钢金属镶嵌件，一块有机玻璃的刻度盘占据了机器前脸的一半，在中波和长波刻度的旁边标注了许多国家电台的名称以利于接收。在收音机的顶部布置有FM、LW、MW、SW1、SW（2~9）的波段转换开关，短波波段展宽开关；音量、高、低音调调节电位器；高、低音转换开关。



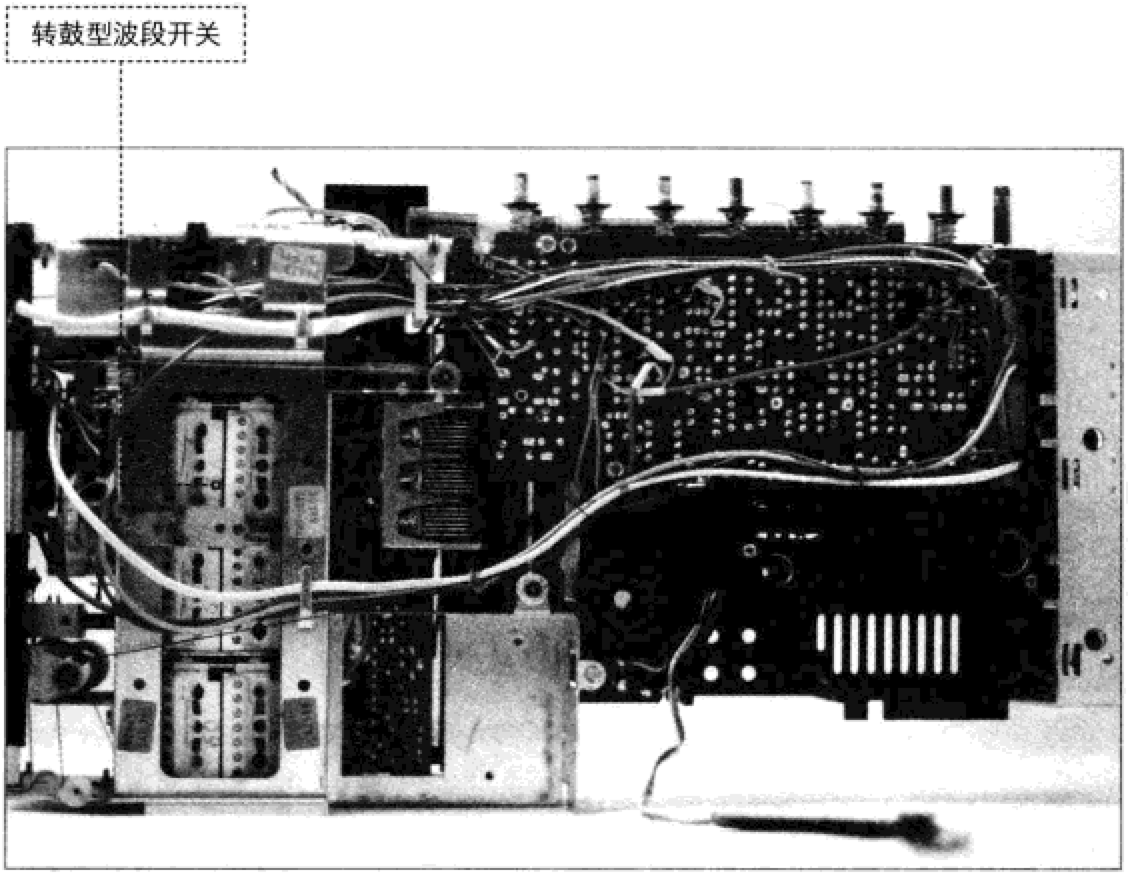
内部结构（前视图）



各种调谐的刻度盘



中放板（在侧面）



内部结构（后视图）

收音机的铭牌

扬声器单元

该机的FM（LW、MW）SW共有3套调谐系统，各系统的高放和变频部分都是独立的（这是高级收音机的独到之处）。SW（2~9波段）的调节系统是单独的机构，波段刻度盘在整个大度盘的左面（一个旋转式的圆桶），波段开关和刻度调节旋钮是在机器的右侧。而FM、LW、MW的刻度调节旋钮是共用的，调节指针的转换是靠波段开关带动离合器来完成的。

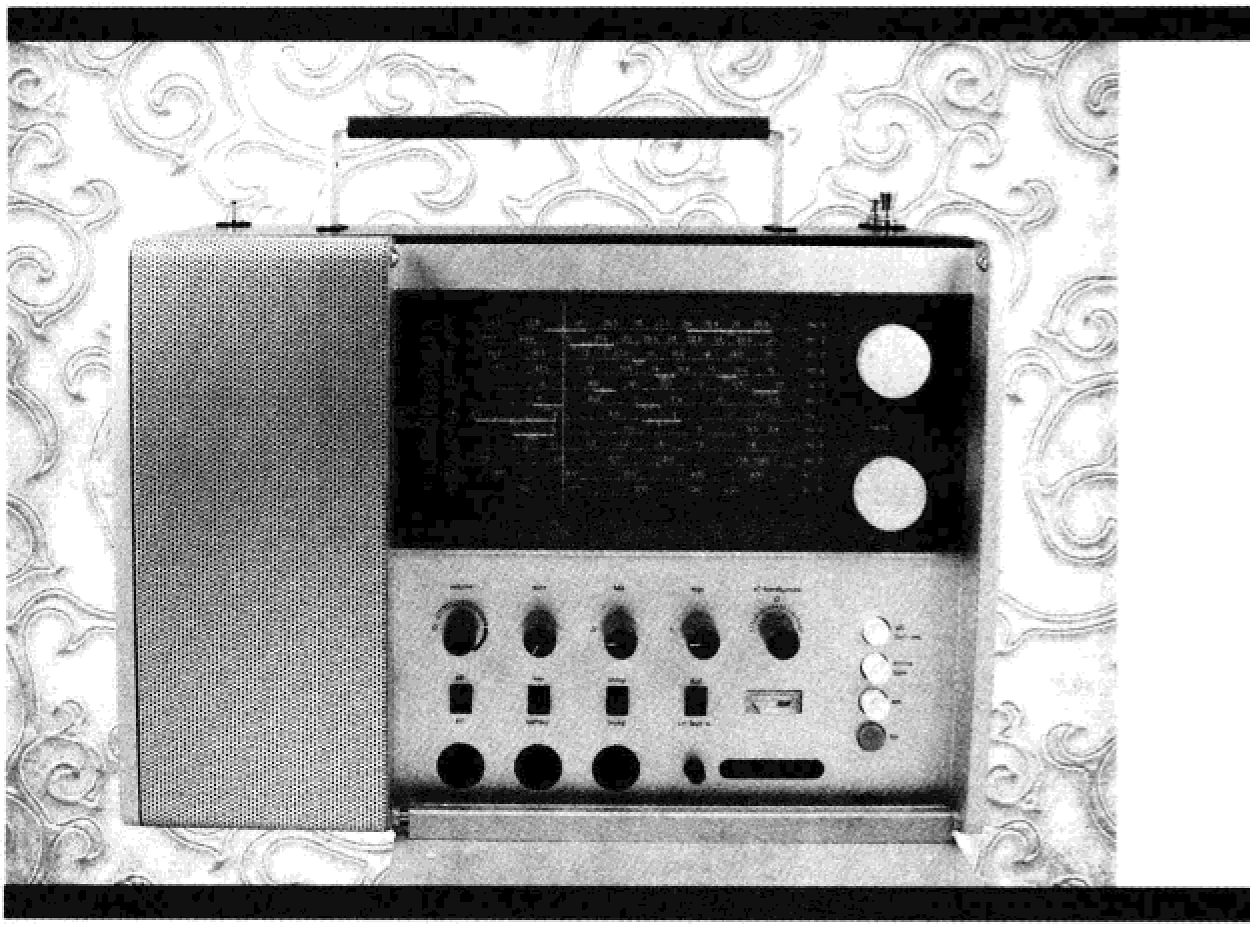
机器的各部件（按功能分组）组装在由塑料、不锈钢、铝合金框架的结构中，SW（2~9波段）的高放和变频部分则组装在一个旋转鼓中，与外部电路全部用镀金的圆触点接触连接。低频放大部分则是用的无输入、输出变压器电路（声音好听的基础），在椭圆形低音扬声器里面用一个高音扬声器套在其中，可以用开关加载高音。

根德公司不惜血本制作的这台收音机播放的声音非常到位，一改以前半导体便携收音机声音不好听的弱点，在收音机发烧友口中熟称的“蓬蓬声”在这款机器中得以感受。

GRUNDIG公司从20世纪60年代末期到70年代中期所生产的几款高档便携式半导体收音机是目前广大收音机爱好者收藏的目标。

一款值得收藏的名机 BRAUN T1000

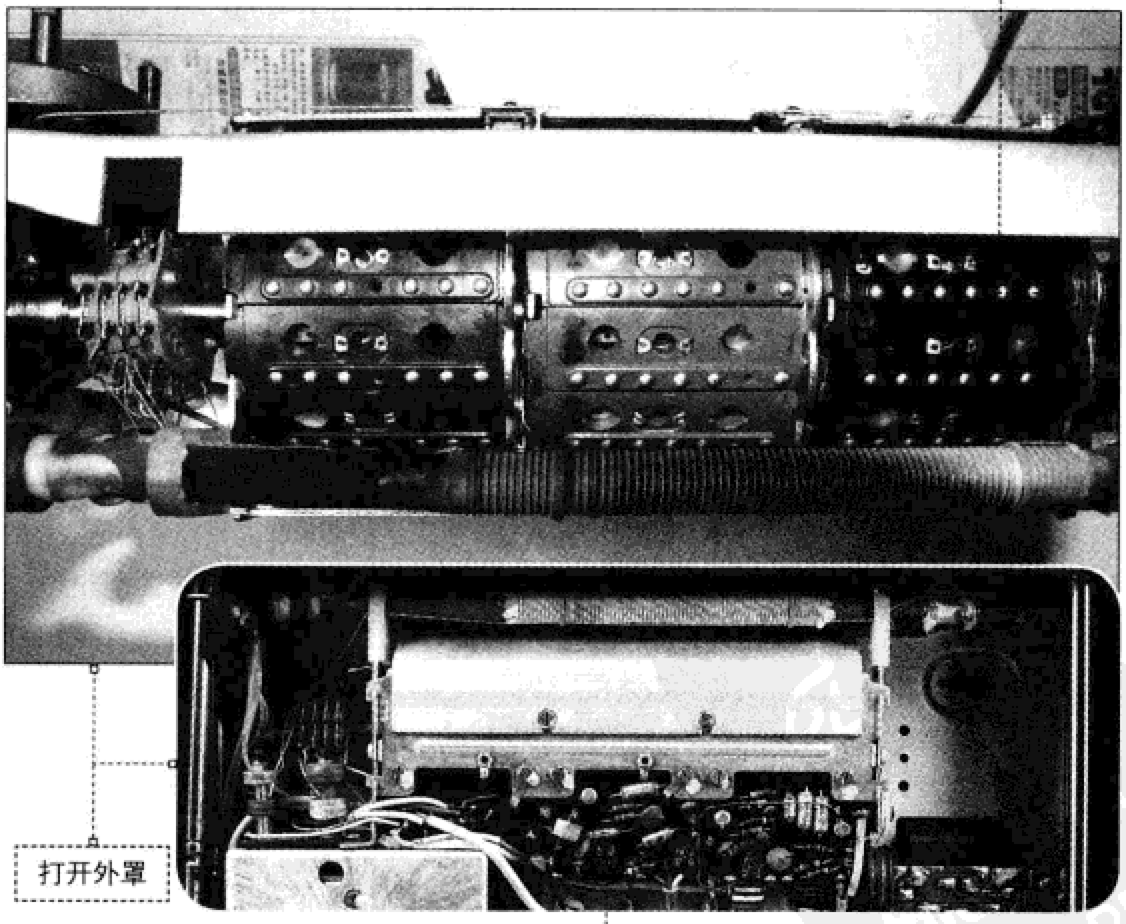
◎陈祖德

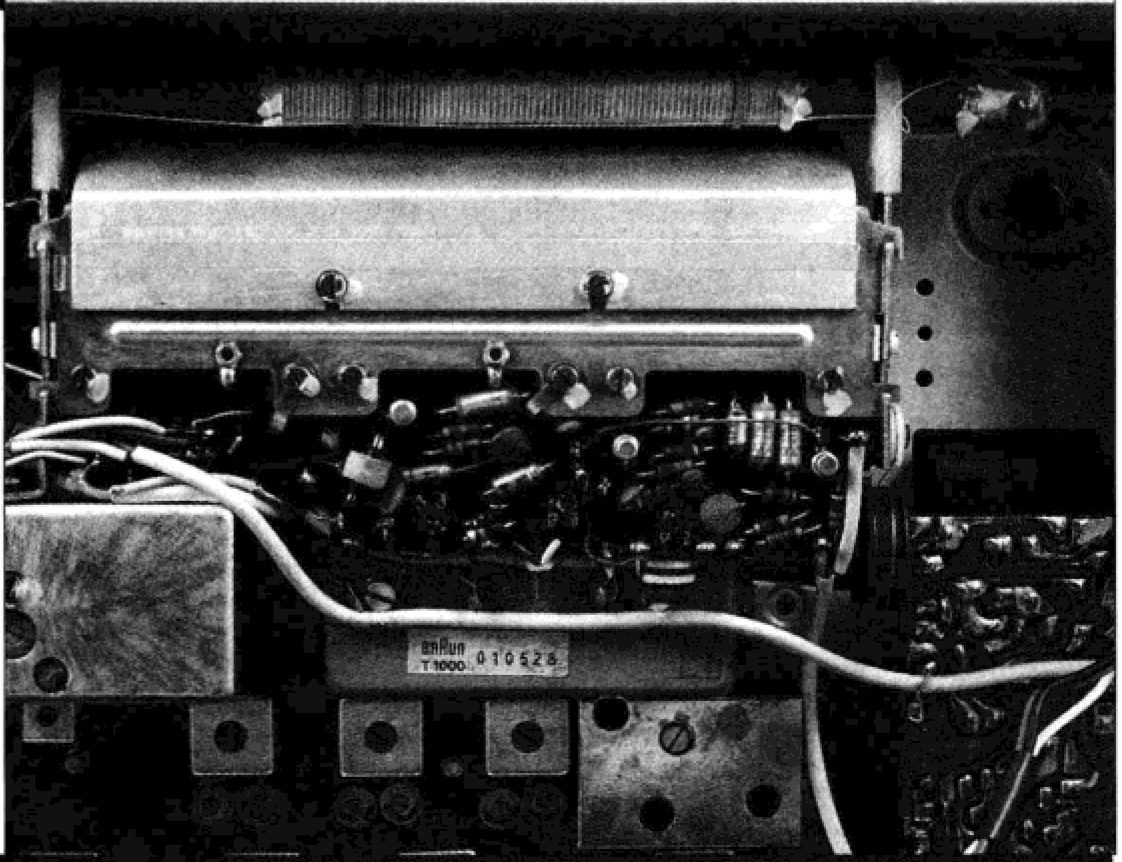


在国内外收音机收藏界几乎没有人不知道这款BRAUN T1000收音机的，它的竞买价格直线上升。

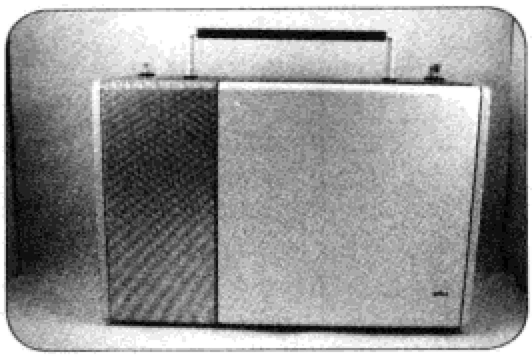
BRAUN T1000收音机之所以这么受收藏者的追捧，也许源于它是由德国著名的工业设计大师DIETER RAMS先生设计。该收音机在1963—1971年由德国BRAUN公司生产制造，在8年间该公司共生产了4种型号的机器，即：T1000 ALT、T1000 SFAPT1010、T1000CD ALT、T1000CD BF243。这是世界上第一台有着8个短波波段——具有远程接收能力的晶体管收音机，也是为航海或边远地区的使用者设计的高档机器。

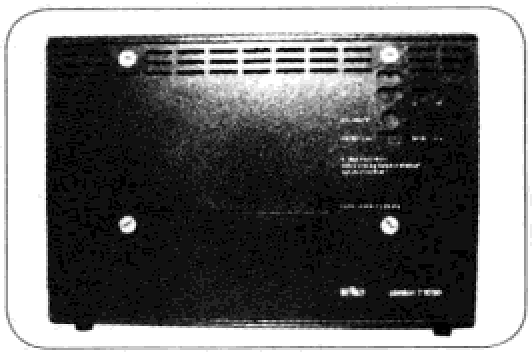
作为收音机爱好和收藏者的我对这款机器也是向往了很久，经过多次在“EBAY ”上竞买，最后总算如愿以偿地把它买回来了。我买到的这款机器是BRAUN公司1963年首批出产的T1000ALT型号，外表与后几款出产的机器没有太大区别，只是这款机器的提手是用铝合金制

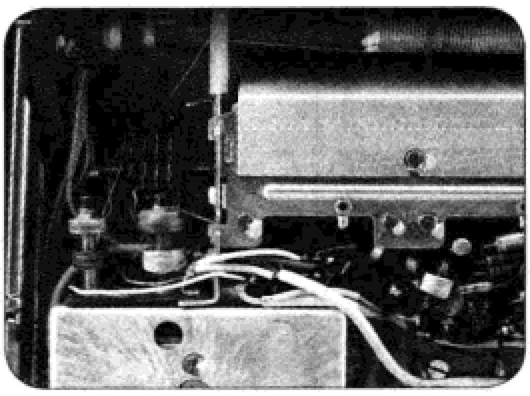


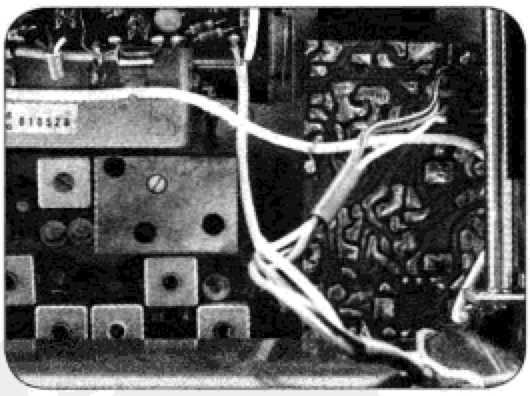


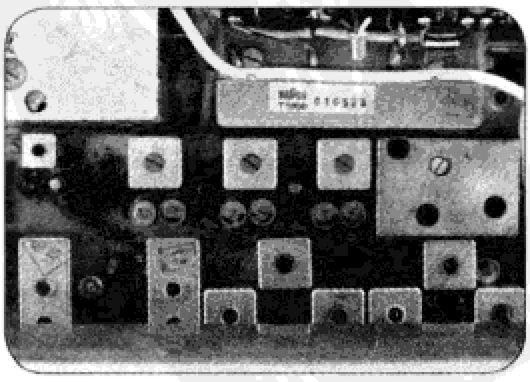
内部结构


外观


机器后面


波段开关部分


低频功放电路


中频功放电路

造的，后几款则改成皮制的了。

这款收音机不愧为名家设计，非常大气和豪华。即使在40多年后的今天，它仍然还是那么吸引眼球。机器的外壳是木制的，前脸和两个侧面采用铝合金板包裹，前盖板是铝合金制造的，平时不用机器时可盖上外壳，保护刻度盘和旋钮。后盖板及电池仓则采用塑料材料的。这台机器的体积是360mm × 260mm × 135mm，重量是8.5kg。本机总共有13个接收波段：1个FM（88~108MHz），2个LW（130~440kHz），2个MW(0.47~1.65MHz)，8个SW(1.6~30MHz)，并带单边带接收功能。

机器到手后自然要开膛破肚地看一看，拆下后盖上面的2颗螺丝就可以拿下后盖，这台机器是采用框架结构，拆下机芯框架四角的螺丝，并松开3颗天线架子上的固定螺丝，向下降低天线高度，整个机芯就可以从机壳里拿出来。这款机器采用的是模块化设计，每个单元的元件（高放、振荡、中放、低放等）做在一块电路板上，各单元之间再连接在一起，这样给机器的修理带来了很大的方便。

本机使用了20个PNP晶体三极管，调频和调幅波段的信号在低放之前各自走一个通路，它们之间互不干扰。调幅单元带有1级高放和3级中放，第二级中放采用了双调谐的变压器，经这样的设计使该机有很高的灵敏度，同时也兼顾了很好的选择性。本机还有一个特点，就是中波分为2个接收波段，机器的覆盖系数好，这样在调试机器时，机器的跟踪可以做得更均匀，灵敏度可以调得更高。低频功放采用输入/输出变压器的电路，配合PNP锗管，使扬声器发出来的声音中规中矩。

最后说说试听效果。本机虽说已快进入50岁的年龄了，但依然宝刀不老，经过多次与其他收音机的PK，无论接收中波、短波，机器的灵敏度、选择性都一点不输于现代机器，按照行话来讲，就是非常地“在状态”。面对这样一款集可玩、收藏为一体的好机，你能不动心吗？

◎邱志强

山进新秀
——ATS-909X收音机的使用感受

“山进”（SANGEAN）是中国台湾的收音机专业厂家，“山进”多年前研发的ATS909一鸣惊人，跻身世界“三大便携机”的行列。今年2月，“山进”再度推出ATS-909X，笔者经过与ATS909的对比，谈谈ATS-909X的收音机的使用感受。

“山进”（SANGEAN）这个名字，在广播爱好者中并不陌生。但“山进”这个名字的来历恐怕鲜为人知。几十年前在中国台湾省，有两兄弟从事收音机制造业，工厂先后替美国RADIOSHACK、德国SIEMENS、荷兰PHILIPS、英国ROBERTS等公司代工。两人中哥哥叫王清山，弟弟叫王清进，于是选择了兄弟姓名的最后一个字作为品牌名，即“山进”。山进收音机最大的特点就是音质优美，这是它的招牌亮点。

要谈山进的最新产品ATS-909X（题图），有必要对它的前身ATS909（图1）作简单的介绍：ATS909的生产历经3个时期——最早是以贴牌的形式生产，如RADIOSHACK DX-398、SIEMENS RK-777、ROBERTS R861，外观是墨绿色的。1996年8月开始使用自己的品牌“山进”生产，型号为ATS909，外观是香槟色的。近几年，“山进”在中国广东扎根落户，ATS909也随之转移到东莞生产，型号不变，但外观改成了银色。ATS909在以贴牌的形式上市时，并没有太大的名气。后来以SANGEAN ATS909露面，却屡获殊荣：先后被“荷广”评为“五星级”产品，被“世界广播年鉴”授予“1996—1997最佳手提收音机”称号，获得中国台湾“最佳工业设计奖”、“台湾省精品”标志。山进 ATS909在与其他两部经典便携收音机（索尼 ICF-SW7600GR、根德 YB400）对比中，有几个突出的特点：（1）拥有极高的调频灵敏度，（2）独具调频R.D.S信息接收功能，（3）短波单边带40Hz精细步进，（4）中波灵敏度和选择性最高，（5）扬声器音质最好，（6）存储位置最多，电台名称可编辑（英文），（7）可在同一电台中选择信号较强的频率收听，（8）独具方便的飞梭，（9）3挡音质可调，（10）闹铃多达3次/天。当然山进ATS909也有它的缺点：（1）短波灵敏度稍低，（2）音量关不死且在小音量下左、右声道不平衡。

山进ATS909行销了15年左右，和索尼ICF-SW7600GR一样成为便携式收音机的常青树。在2010年中，荷广网站、亚马逊网站上先后出现ATS-909X的图片。由工程图到样机图，ATS-909X被赋予了太多的猜测，最早流传的是采用DSP数字解调，具备数字中频输出，后来又传闻采用二次变频DSP，这些猜测都使ATS-909X披上一层神秘的面纱，也激起了广播爱好者的好奇与期望。直到今年2月底，ATS-909X实物产品才姗姗来迟。笔者在上市之初就购买了一台，初步使用后发现上市前的猜测纯属空穴来风。实际上ATS-909X最大的特点在于调频使用了DSP处理芯片，调幅部分和ATS909框架相似。以下，笔者就ATS-909X是否发挥ATS909优点、克服ATS909短处方面作一些评述。

外观改进

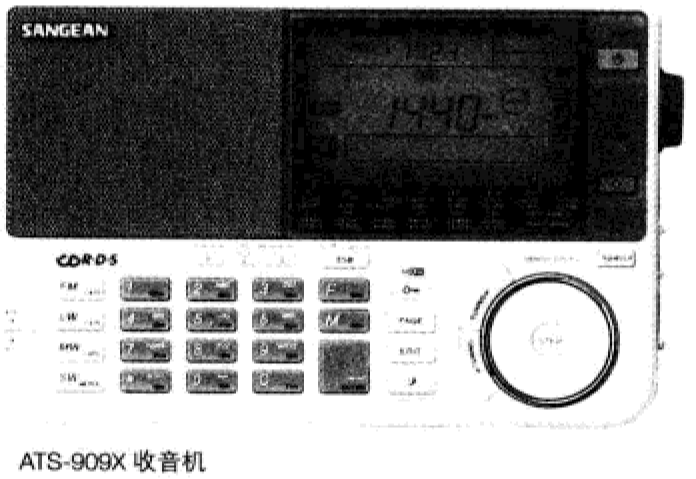
两机外观有明显的不同（图1）。ATS-909X的主要改进要点：一是整体面板布置趋向合理，按键旋钮按功能分布，改善了ATS909布局混杂，主要功能不突出的问题。二是把不常用的时钟调整、夏时制、世界/本地时间设置按钮移到机顶，减少了面板的拥挤度（图2）。三是把原ATS909位于机器右侧的飞梭移到了面板右下角，而且把“调谐↑”、“调谐↓”和“飞梭快慢速调整”整合成一个单元（图3），大大方便了单手指操作。

两机外观工艺相当，但ATS-909X的按键清脆，干净利落，消除了ATS909按键软而无力的现象。ATS-909X右侧面的拨钮较大，定位更清楚，一扫ATS909拨钮得用指尖抠动的不足。

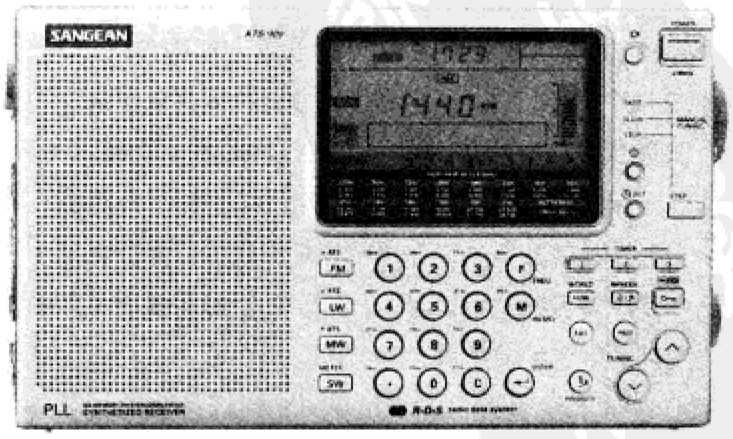
ATS-909X的天线改用不锈钢材质，更为坚固挺拔，一拉到顶，一压到底。而ATS909天线显得脆弱、摇晃，不得不让人小心翼翼地使用。

ATS-909X的显示屏采用白色背景光，在使用电池供电下每次照亮12秒。ATS909采用绿色背景光，同条件下每次照亮8秒。背景光的颜色和时长各有所爱，但ATS-909X的背光亮得多，也均匀得多（图4）。

不足的是ATS-909X调幅增益旋钮手感太滑，且露出面板部分太少，难以使用（图5）。



ATS-909X 收音机



ATS909收音机

图1 对比图

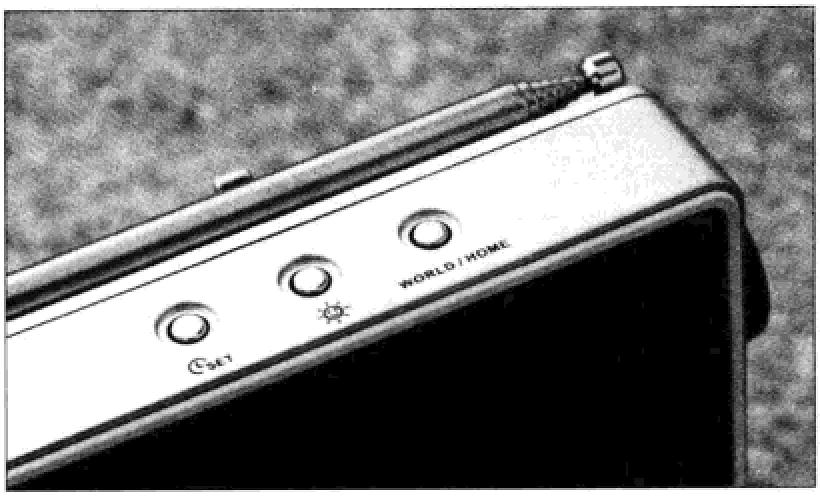


图2 机器顶部的时间调整钮

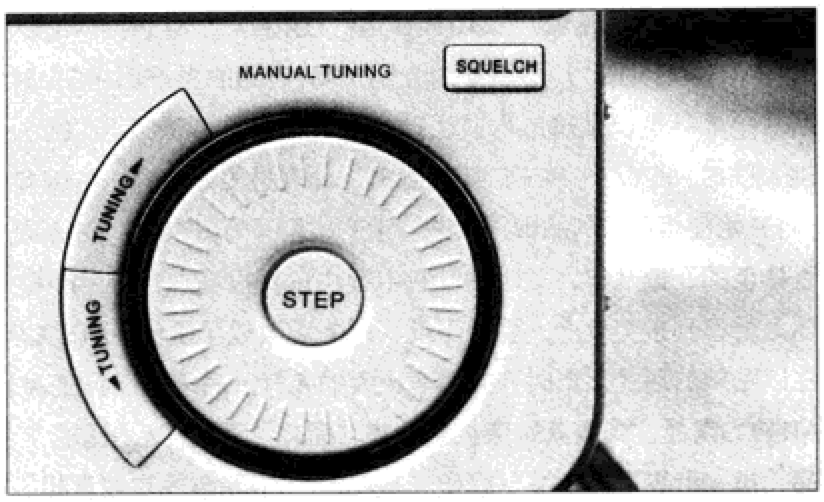


图3 频率调谐飞梭

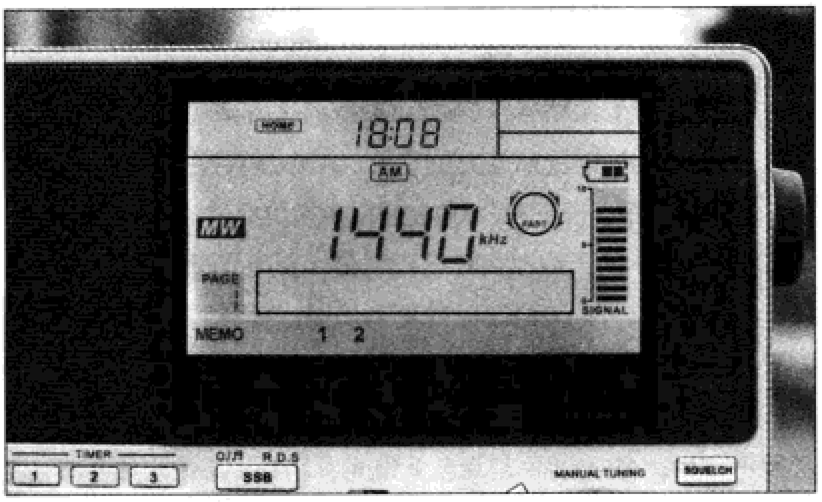


图4 频率显示屏

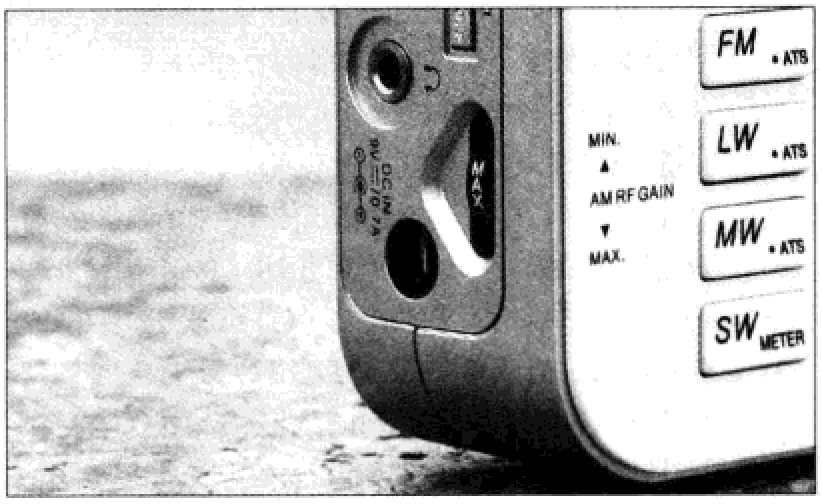


图5 调幅增益旋钮

小结：ATS-909X面板设置、按键手感、天线材质、背光均匀度大大胜过ATS909，唯调幅增益旋钮不好用。

收听对比

1. 调频

较高级的传统电路收音机的调频强台带宽约占0.7MHz，ATS909也在这个水平，国内优秀的DSP收音机调频强台带宽约占0.5MHz，如德生DSP系列收音机；ATS-909X调频也采用DSP解调处理，最强台带宽只占0.4 MHz。这一测试结果让笔者震惊！要知道每个电台所占的频宽越窄，产生临频干扰的可能性就越少，也就意味着波段内容纳的电台越多。ATS-909X是笔者所见到的调频电台占用频宽最窄的便携机。

当然DSP收音机也有它的不足——为保证信噪比，芯片内设置了接收信号门槛，拒绝弱信号接收，所以ATS-909X调频微弱信号接收能力不如使用传统调频线路的ATS909。

ATS909在世界三大便携机中拥有最好的扬声器音质：低音自然，高音清脆。要说遗憾，只是中频有所缺失而导致音色略为中空。而ATS-909X不但低音力度得到加强，人声也变得厚实多了，高音没有ATS909那么抢耳，但仍不失纤细，表现在连手动调台间隙的“嘶嘶”声听起来都不难受。

DSP芯片还有一个不足，那就是解调还原较弱的电台信号会有一些“数码声”，表现为轻微的发抖加上充满毛刺的高频味，用耳机收听尤为明显。只有音频处理技术较强的厂家，才能把这种数码声减少到最低。同用森海（SENNHEISER）PX 100耳机作对比收听（图6），ATS-909X的调频耳机输出音质属上乘，与经典的艾利和（IRIVER）IFP-180TC MP3的调频耳机音质不相上下，基本上听不到数码声。即使和ATS909对决，ATS-909X耳机输出音质的饱满度和立体声分离度也是胜出的，可见ATS-909X在数码音频还原方面有相当深厚的造诣。

另外，ATS-909X的耳机输出还有一个明显进步的地方，那就是扬声器音量和耳机音量听感一致，而ATS-909的耳机在听感上远大声于扬声器，插进耳机会吓一跳。

ATS-909X的音质改进得并不彻底，音量关不死和小音量下

左右声道不平衡的问题虽有所改善，但仍然存在。

小结：ATS-909X的调频选择性大大提高，扬声器、耳机音质更好。调频弱信号接收效果欠佳，音量关不死和声道不平衡问题依然存在。

2. 短波

手动调整短波频率，惊喜地发现ATS-909X没有调谐瞬间的静噪。没有瞬间静噪的收音机，手动调谐听感更自然，很有模拟机的味道，更重要的是快速手动调谐时，那些微弱的电台不会被瞬间静噪所屏蔽。

ATS-909X的短波灵敏度毫无悬念地高于ATS909，而且ATS-909X的自动增益效果也强于ATS909，表现在ATS-909X信号起伏的幅度和频度均小于ATS909。不过让人不解的是ATS-909X在短波信号强度急剧衰减导致自动增益无能无力的时候，会在语音上寄生明显的干扰噪声，使人声变得“沙沙”的，而此时的ATS909声音明显更为自然。

由于ATS-909X短波灵敏度和自动增益效果好于ATS909，故ATS-909X的短波SSB接收更为清晰。SSB信号虽然微弱但强度变化不大，所以ATS-909X短波广播信号严重衰减时出现的寄生噪声问题在SSB接收上并没有出现。两机同样具备40Hz精细步进，所以SSB都非常容易调到最佳接收状态。

另外补充一下两机短波使用技巧：搜到电台后，持续慢慢旋转调幅信号增益旋钮。在某一时候，会感到背景干扰明显变小而广播信号衰减不多，此时再把音量开大些，就能听到信噪比更高的短波广播。

小结：ATS-909X短波取消了调谐静噪，灵敏度、自动增益效果也胜过ATS909，但信号严重衰减时伴有“沙沙”声，SSB接收效果好于ATS909。

3. 中波

ATS-909X中波也采用调谐无静噪设计，优点同上。灵敏度和选择性秉承了ATS909的优点，达到了很高的水平。对比中发现ATS-909X的信号指示强度要高于ATS909，然而这只是显示而已，实际灵敏度和选择性并无二异。

同样接收受到干扰的中波电台，ATS-909X的噪声对人声干扰比较大而ATS909就略小一些。我们知道：扬声器不同，频率曲线、谐振点、振幅也不同，从而造就了千差万别的音色。ATS-909X的扬声器虽然音质更优美，但把干扰噪声的谐振点落到人声上，故对人声的影响更大一些，这是不如ATS909的地方。

小结：ATS-909X中波无瞬间静噪，灵敏度、选择度等同ATS909，但噪声对人声干扰严重些。

4. 长波

本地收不到任何长波电台。同样地，ATS-909X长波无瞬

图6

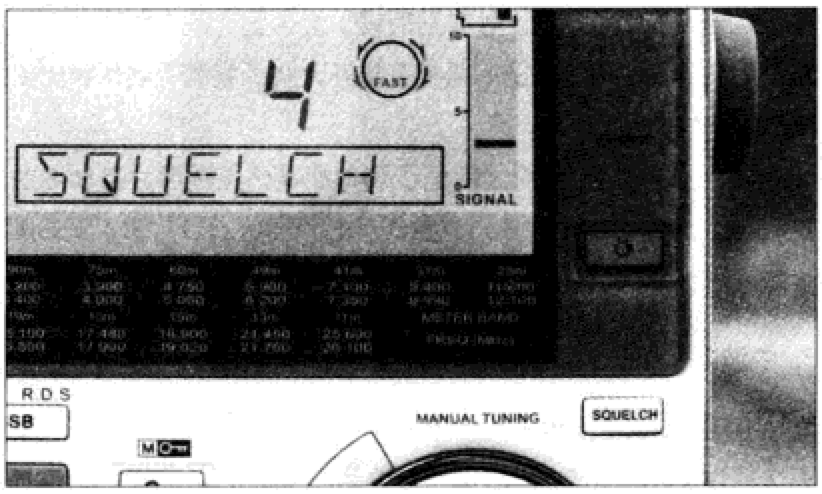


图7 新增的静噪功能

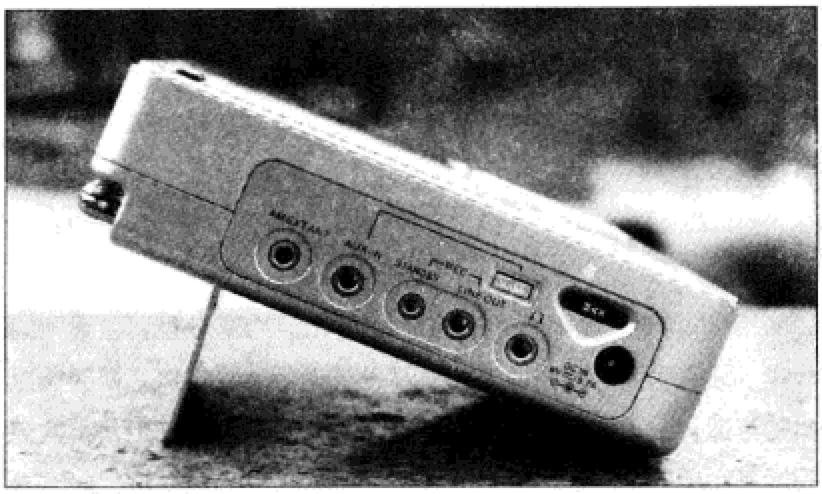


图8 外接输入功能

间静噪，而ATS909有。

新增功能

1. 使用功能

相比之下，ATS-909X自动搜索速度更快，对电台的锁定也更准确。但由于ATS-909X是新机型，软件上难免有些不完善：使用自动搜索时，本应该是自动静噪的（请注意："收听对比"内容中所述的"瞬间静噪"均指手动调谐时）。而ATS-909X的短波进行米波段外自动搜索时，从最高端的29 999kHz自动转到最低端的1.71kHz之后，自动静噪功能失灵了。从最低端频率自动转到最高端频率也同样存在这个问题，ATS909就没有这种现象。看来这是ATS-909X的一个软件BUG，当然问题不大。

也有一些广播爱好者不喜欢每个电台间隙的噪声，所以ATS-909X新增了0～12级静噪功能（图7），且每波段可分别设置。它的作用是无论自动还是手动搜索时，只有达到一定强度的电台才能被接收，这个功能可以排除微弱的、没有实际收听价值的电台，更可以排除调台间隙的底噪，要是不刻意收听极微弱的电台，这个功能还是很实用的。此功能在一般的收音机上并不常见，所以广播爱好者如果发现ATS-909X的灵敏度莫名其妙变低了，可检查调幅增益是否设置于最小，静噪功能是否被打开。

2. 存储功能

ATS909分配给各波段的存储电台数分别为调频9个×3页=27个，短波9个×29页=261个，中波9个×2页=18个，长波9个×1页=9个，再加上最常用的1个（任意波段），虽然总数为316个，但由于是按波段分配且不可更改，就造成了调频、中波存储位置不足的问题。ATS-909X有所改进，也只是把短波存储页数增加到39页而已。两机短波段的每一页只能编辑一个电台名，设计者的本意是把某个短波电台在不同时段使用的不同广播频率都存储在同一页中，然而这样做实在不方便按时段收听。

3. 扩展功能

为了让扬声器音质优美的特点更有用武之地，ATS-909X增加了外接输入功能（图8），要是听腻了收音机，接MP3或其他音源，可实现外放。

ATS-909X带充电功能，随送的外接电源也可当充电器使用，但没有附送充电电池。收音机附带的充电功能均为串联充电，所以建议另购一致性好的充电电池，如"三洋"。因为串联充电存在"短板效应"——电池一致性越差，充电效果也越差。

小结：ATS-909X自动搜索更快更准确，静噪设置、外放、充电功能都比较实用，短波存储量有所增加。

总结评价

从ATS-909X身上，我们可以感受到"山进"收音机设计的新思路：面对调频电台日益丰富的收听环境，不再刻意追求极微弱信号的接收，而是把普通情况下能收到的电台收得更好更动听，从而让听广播成为更轻松更优美的享受。其实这也是近年来国际收音机产品发展的主流趋势，山进ATS-909X正是这一潮流下的用心之作。

由于山进ATS909和ATS-909X目前同时在产，且价格基本相同，自然就有一个问题——两机之间选择谁？笔者认为，要是以"听"为主，就选ATS-909X；要是以"收"为主，还是选择ATS909。如果有了其中的一部，还要不要买另一部？笔者认为，如果从收藏的角度出发，不妨两部都拥有，因为"山进"高级便携机更新换代的速度太慢了；如果从日常使用的角度出发，则没有必要同时拥有，因为ATS-909X和ATS909的相同点远多于不同点。

◎陈汉燕　徐蜀

20世纪70年代的国产精品

春雷3T3型晶体管收音机

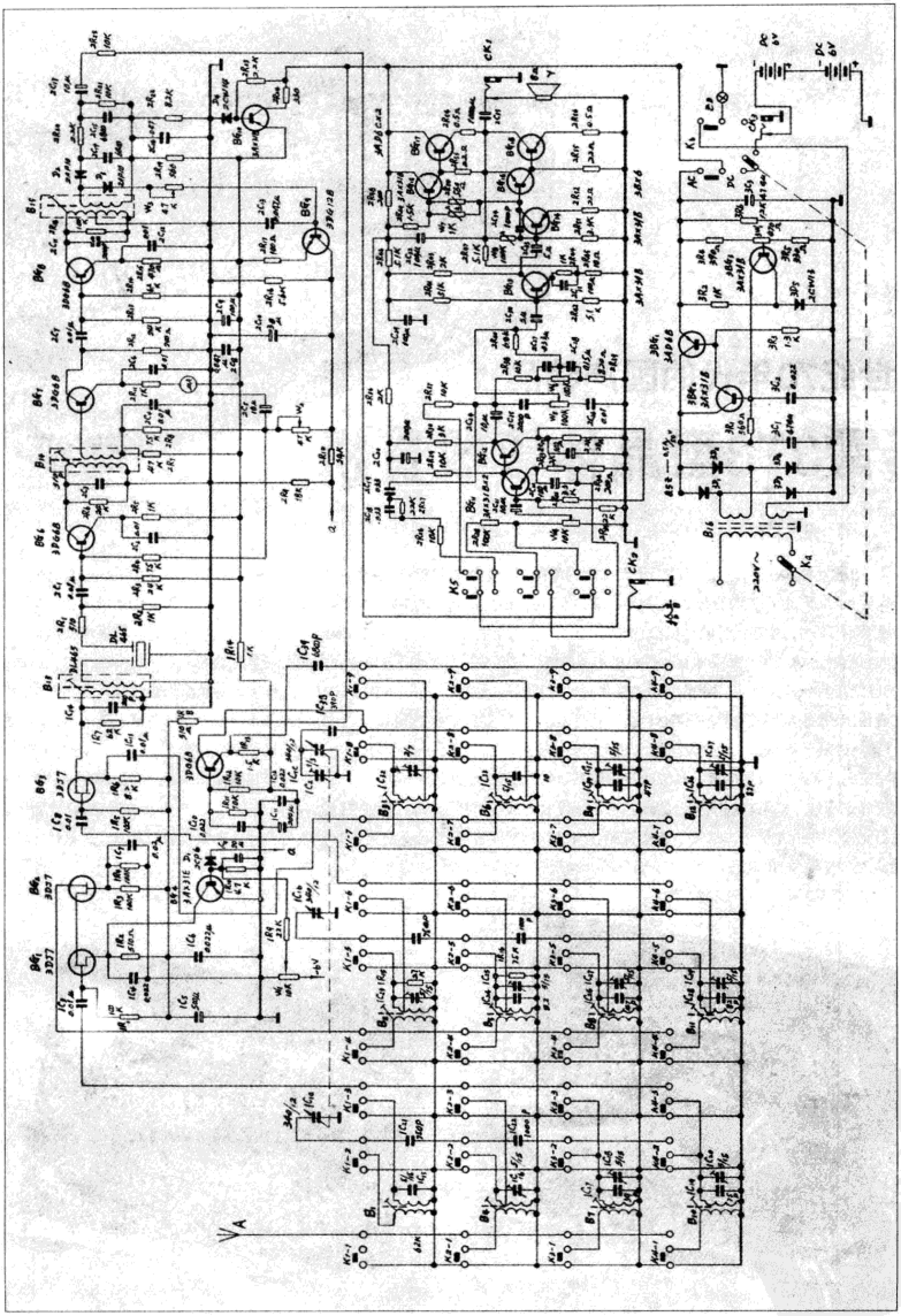
春雷3T3是上海无线电三厂的产品。上无三厂的前身是历史悠久的宏音无线电器材厂和公利电器厂。“美多”是宏音时代创立并延续至上无三厂时期的收音机著名品牌。1958年7月，该厂试制成功国内第一台晶体管汽车收音机，国庆10周年前夕，又生产出国内首批美多牌ST2-1-1型晶体管收音机。1962年10月，上海无线电三厂率先制成国内第一台全国产化美多牌28A型便携式八管中短波段晶体管收音机，并建成第一条晶体管收音机流水生产线。“春雷”是20世纪60年代后期开始使用的商标。

20世纪70年代初，省电、便携的晶体管收音机在我国开始普及。与此同时，国家还加强了高性能晶体管收音机的研制工作，陆续推出了春雷3T3型、红灯735型、熊猫B11型、牡丹2241型高级晶体管收音机。在上述4款收音机中，春雷3T3属于简洁质朴型，总共只有4个波段，外观也不华丽，但接收与放送性能却十分优秀；因为它是一款专为边防驻军打造的收音机。

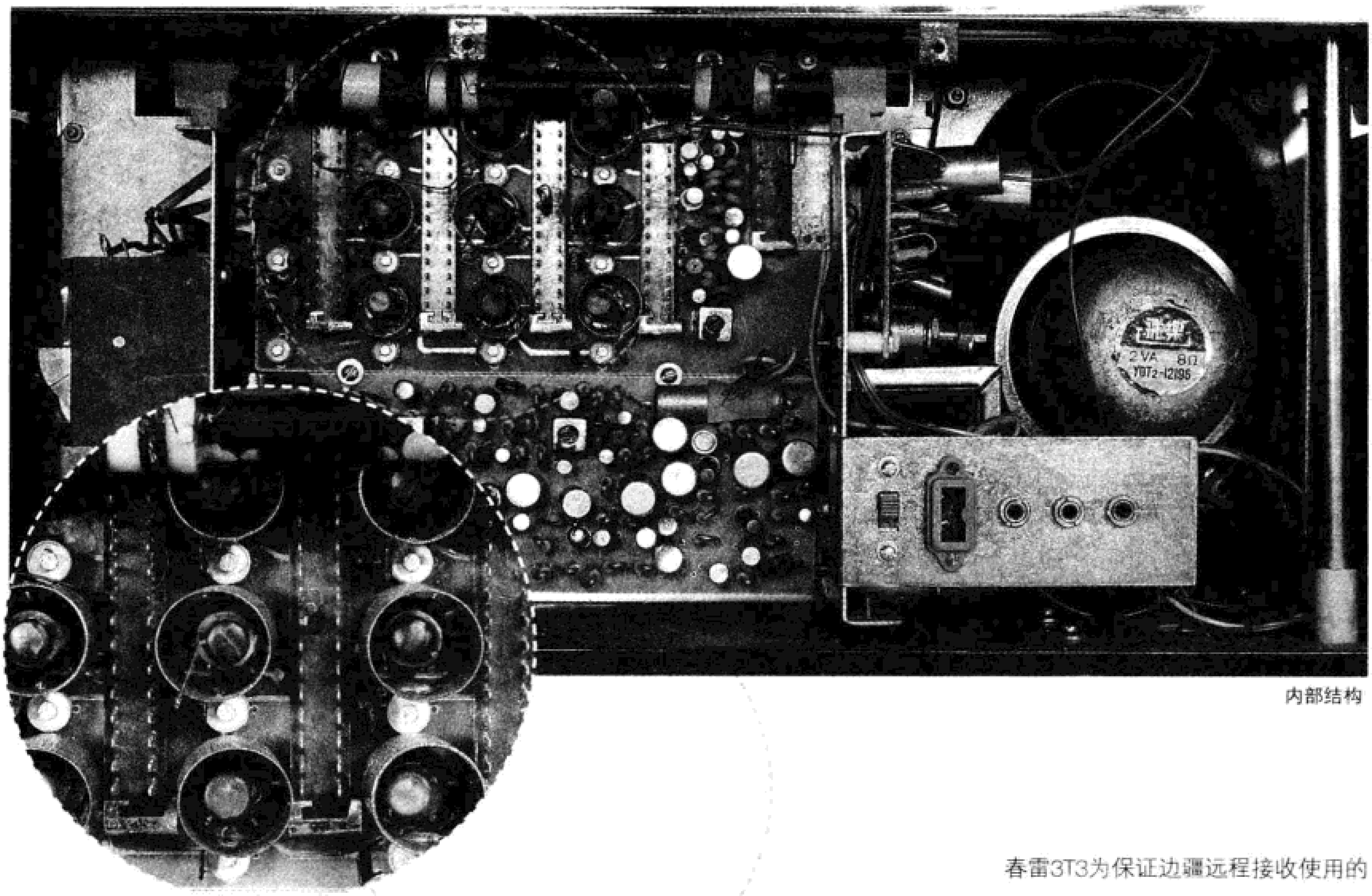
春雷3T3使用了21只晶体管，高频回路采用3只场效应管的级联放大电路，中放采用硅管和晶体滤波器，因此极大地提高了收音机的灵敏度和选择性，能够在远离电台的地区稳定地接收无线电广播信号。曾有广播爱好者用熊猫B11、红灯733等高级晶体管收音机与此机进行比较，在中波和短波频段，春雷3T3的接收灵敏度和稳定性都要远远胜出其他收音机。功率放大部分采用当时晶体管扩音机才使用的3AD6C输出的OTL电路，功率大、音质好。整机性能指标见随机说明书。

早期收音机保护箱（图片由张箭提供）

收音机保护箱



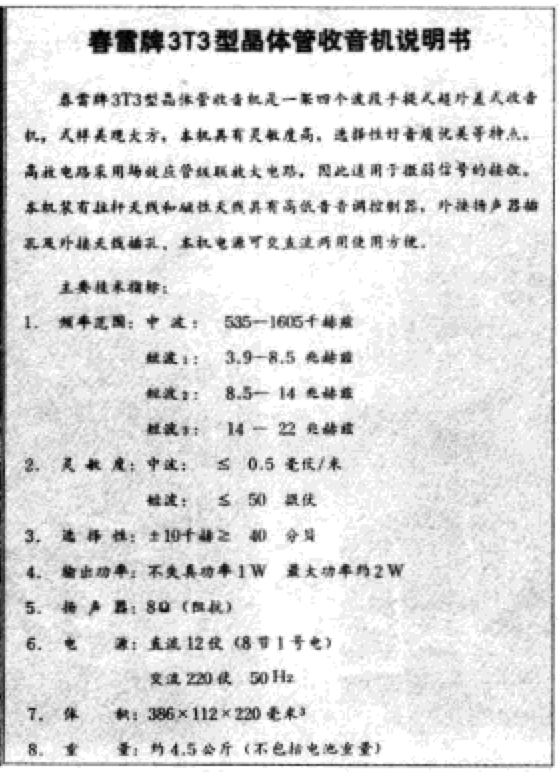
整机电路图（爱好者收藏的老资料）



内部结构

春雷3T3为保证边疆远程接收使用的性能，除电路部分精心设计外，还在结构方面采取了诸多措施。例如：收音机的拉杆天线长度达187cm，有利于微弱信号的接收。机内元器件布局紧凑合理，屏蔽到位。晶体管、电容、电阻等均选用优质品，虽时隔40余年，不少机器的性能依然良好。为了便于移动和保护机器在室外的使用，该机特制了随机使用的防震木制机箱，不必取出收音机即可收听。另外，本机交直流两用，而且还有外接12V直流电源插口，可以驳接汽车电瓶。收音机还有外部扬声器接口，以满足旷野广播收听的需要。

春雷3T3问世后，电路和造型有过一些小的变动。木制保护机箱为军绿色，早期机箱上标有“边防部队群工点专用”字样，军用收音机的特色格外鲜明。据说春雷3T3总共只生产了1500台，而且直供部队，未上市销售，民间较难搜寻到，故具有很高的收藏价值。



春雷牌3T3型晶体管收音机说明书

春雷牌3T3型晶体管收音机是一架四个波段手提式超外差式收音机，式样美观大方，本机具有灵敏度高，选择性好音质优美等特点。高放电路采用场效应管级联放大电路，因此适用于微弱信号的接收。本机装有拉杆天线和磁性天线具有高低音音调控制器，外接扬声器插孔及外接天线插孔，本机电源可交直流两用使用方便。

主要技术指标：

1. 频率范围：中 波： 535—1605千赫兹
   短波1： 3.9—8.5 兆赫兹
   短波2： 8.5— 14 兆赫兹
   短波3： 14 — 22 兆赫兹
2. 灵 敏 度：中波： ≤ 0.5 毫伏/米
   短波： ≤ 50 微伏
3. 选 择 性：±10千赫≥ 40 分贝
4. 输出功率：不失真功率1W 最大功率约2W
5. 扬 声 器：8Ω（椭圆）
6. 电 源：直流12伏（8节1号电）
   交流220伏 50Hz
7. 体 积：386×112×220毫米^3
8. 重 量：约4.5公斤（不包括电池重量）

随机说明书

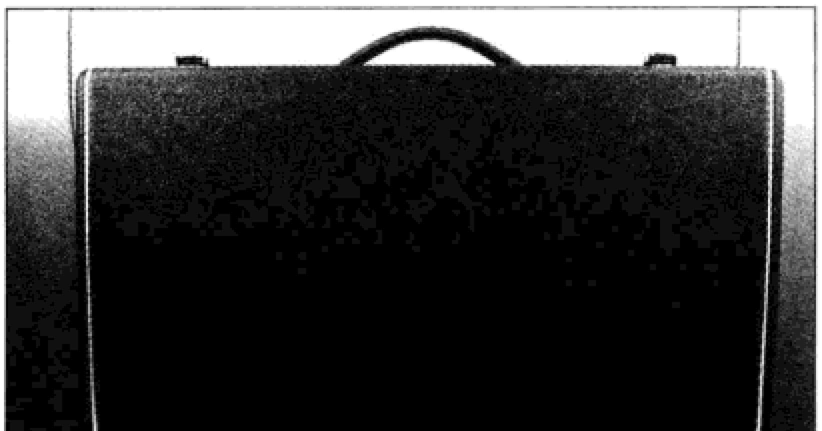
◎陈祖德

晶体管收音机中的巨无霸——SONY CRF 230

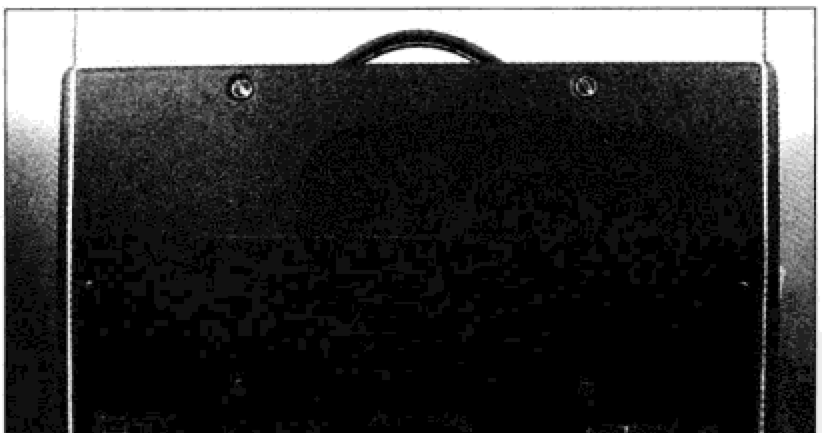
SONY CRF 230从德国空运到家，巨大的包装让我目瞪口呆，它尺寸是：机器长452mm、高325mm、宽170mm，净重14kg，在SONY系列的晶体管收音机里，它是一款体形最大的便携式收音机了。

打开厚重的包装，一个黑色沉重的木箱呈现在我眼前，从外表看不出这是一台收音机，但是当打开机器前面的保护盖时，呈现在我眼前的各种旋钮、度盘，按键却让我目不暇接。该机一共有 23 个波段，2 个 FM（64~90MHz，87~108MHz）；1 个中波 (530~1605kHz)；1 个长波 (150~400kHz)；19 个短波 (1.6~29.8MHz)。这是一款全晶体管模拟电路的收音机一共采用了 48 个晶体三极管，34 个二极管，中波带高放电路，短波则是采用高放和两次变频的电路。

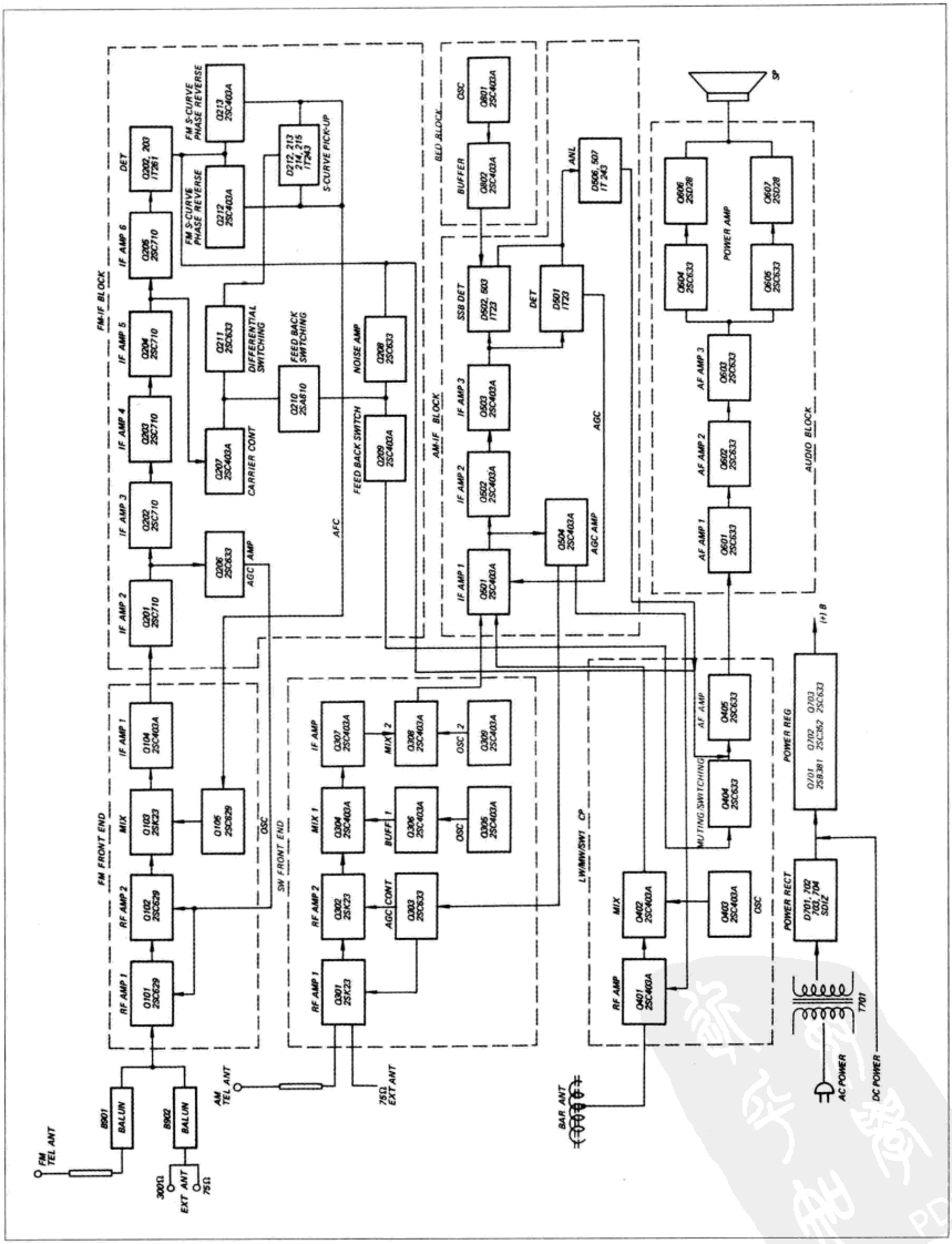
下面让我们细细品味一下该机的独特之处吧。



外观（正面）



外观（后面）



原理方框图（选自随机说明书）

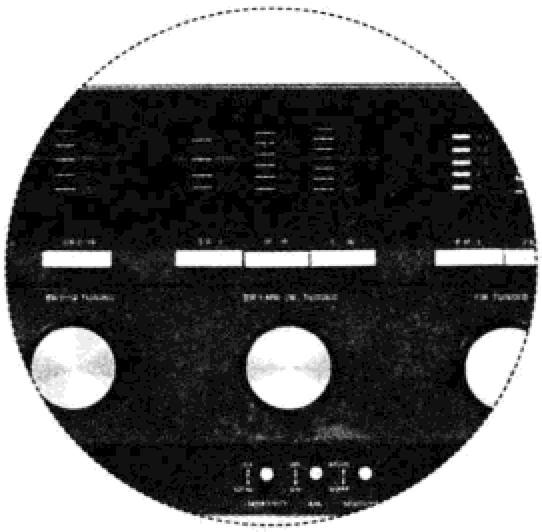
（1）在机器前面的正中布置的3个大旋钮是机器的调谐旋钮，分别在上方的3个调谐刻度窗口显示调谐接收到的调频、中波和短波，调谐时的手感还是不错的。各波段之间的转换是使用按键开关，而短波的18个波段则是用在机器侧面的旋转开关来转换。

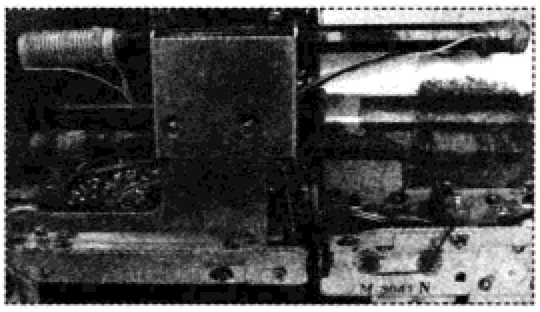
（2）机器的上方近1/3的位置是一个密闭的音箱，内部装有两只椭圆形的扬声器，由于采用的是单独的音箱，所以机器发出的声音圆润好听，但是没有德国收音机的那种“蓬蓬”声。音箱后面的空隙则设计成机器的电池盒（6节1号电池）。

（3）在密闭音箱的下方是整个机器的电路部分，所有的电路板和部件都是装在一个钢框架内，机芯拆卸很方便。该机由于出产的年代较早，加上整机电路设计也比较复杂，所以内部电路显得比较杂乱，印制电路板左一块右一块，很零碎，这给维修带来不便。尤其是短波转换波段鼓，用一句话来形容就是又大又蠢，使用起来非常费力，相比同年代欧洲设计的收音机波段转换鼓来说，还是有不小的区别。

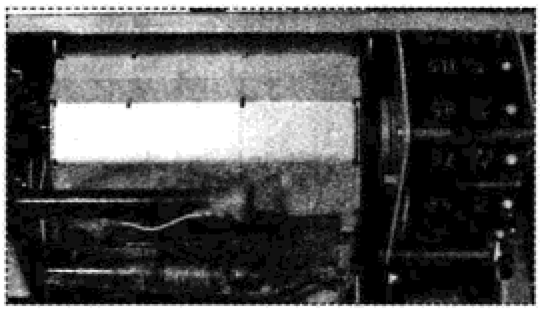
（4）本机的设计宗旨是用于远程接收，为了降低收听时机器的本底噪声，其主要电路全部使用了NPN三极管，这样在收听短波电台时噪声非常小，给收听者带来了一种享受。该机还带有SSB功能，使收听短波业余电台时得心应手。

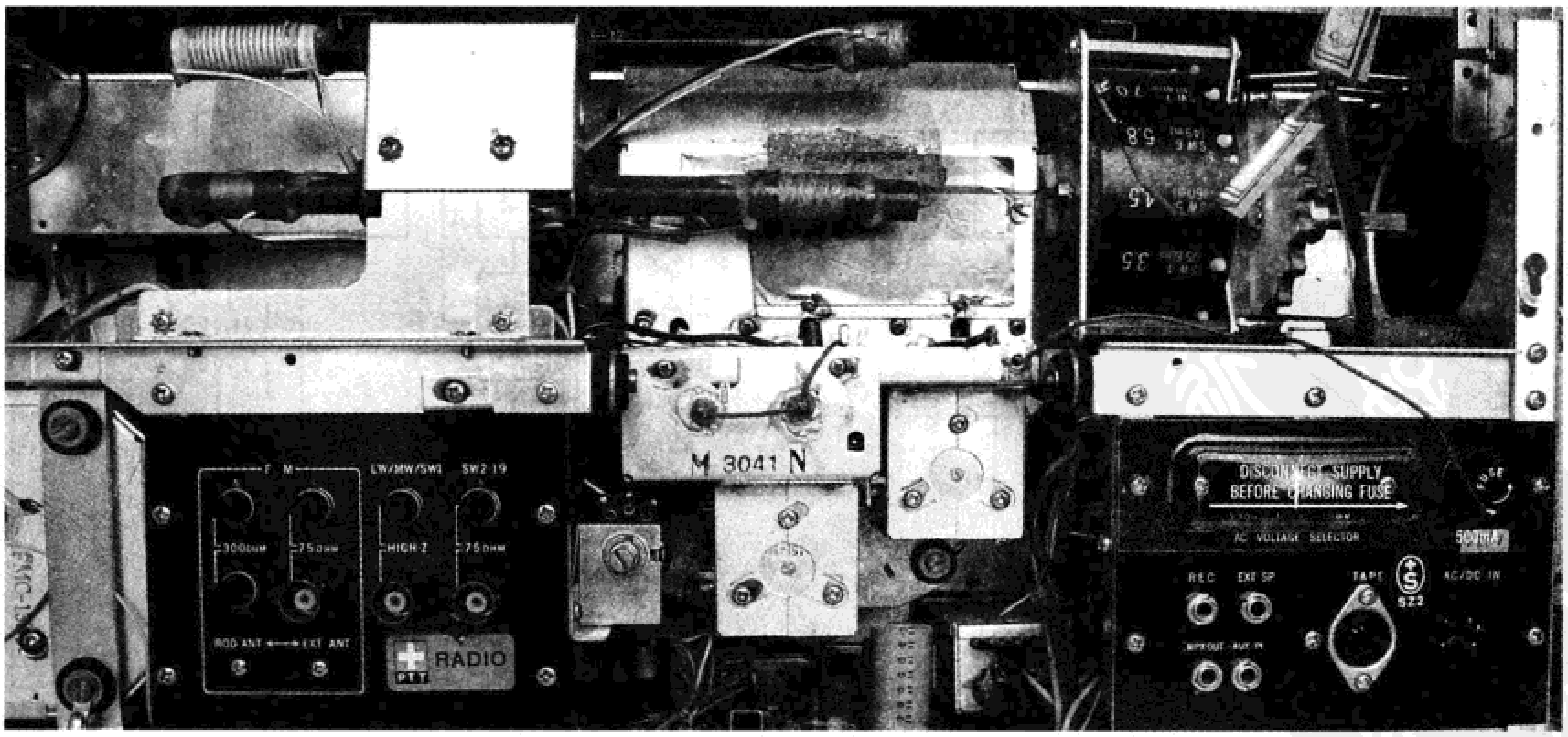
短波波段开关


调谐旋钮和调谐窗

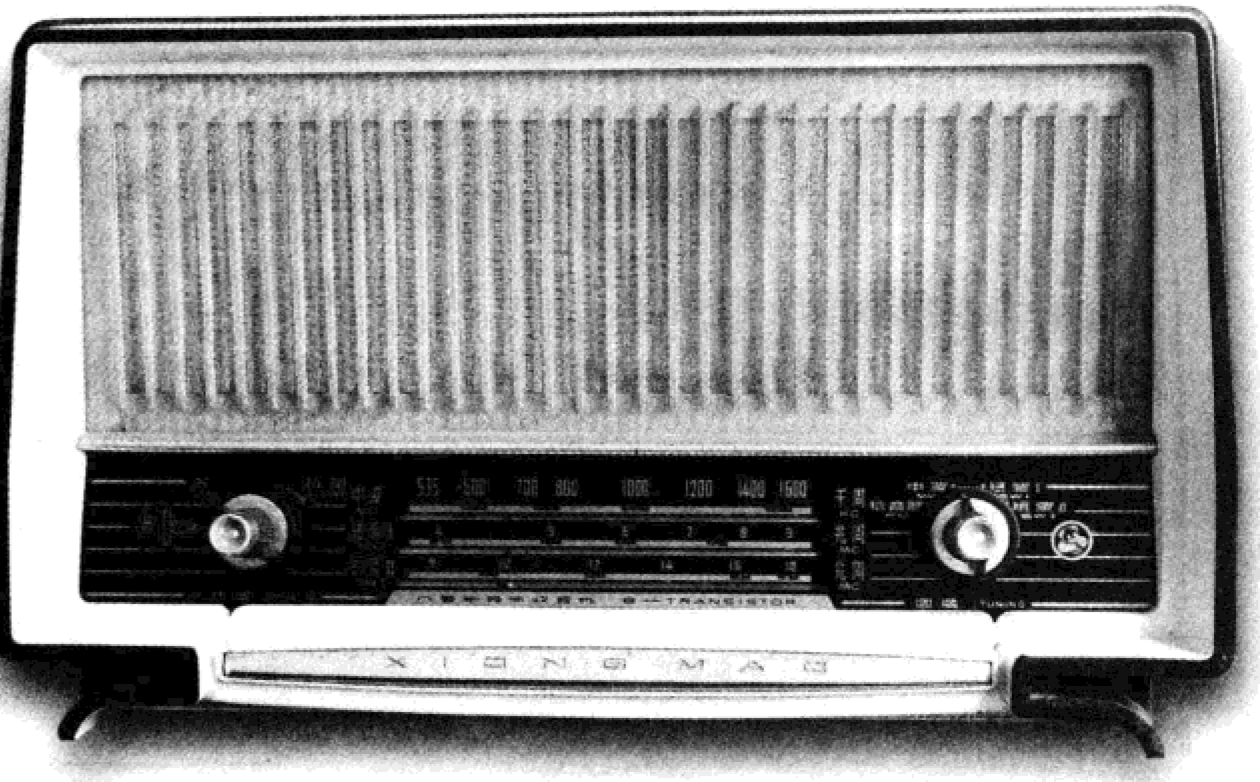


两根磁棒


短波波段鼓



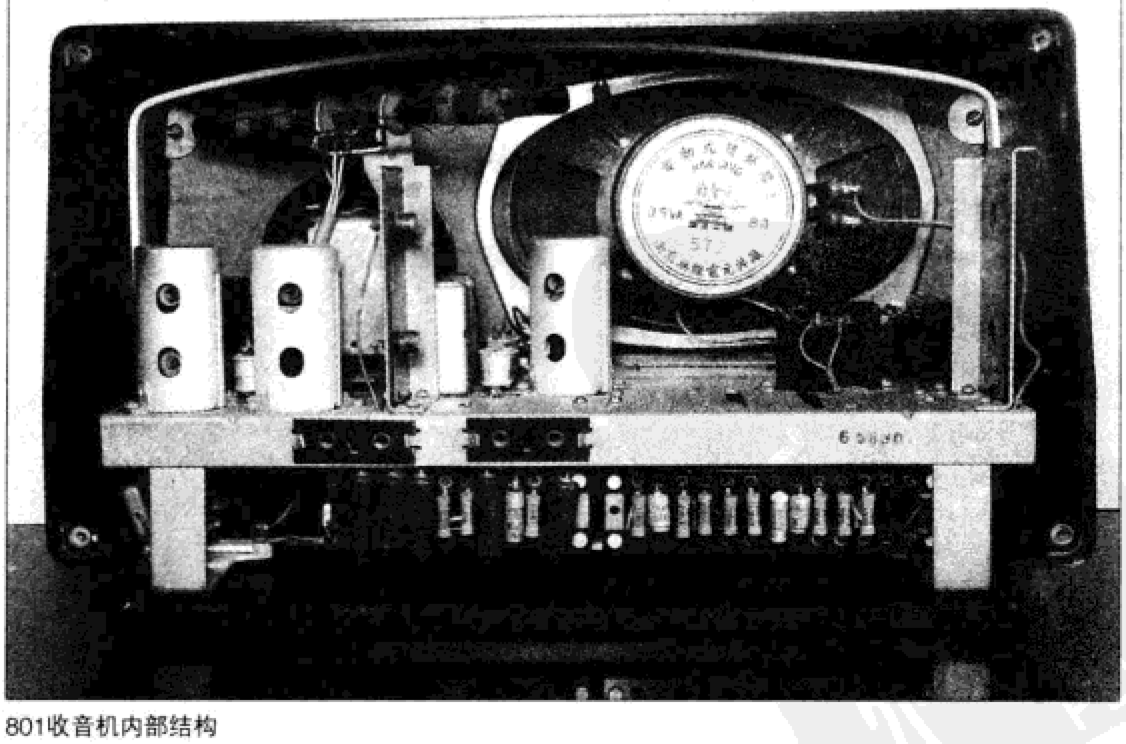
内部结构



◎陈汉燕　徐蜀

20世纪
60年代
国产晶体管收音机的佼佼者
——熊猫B801

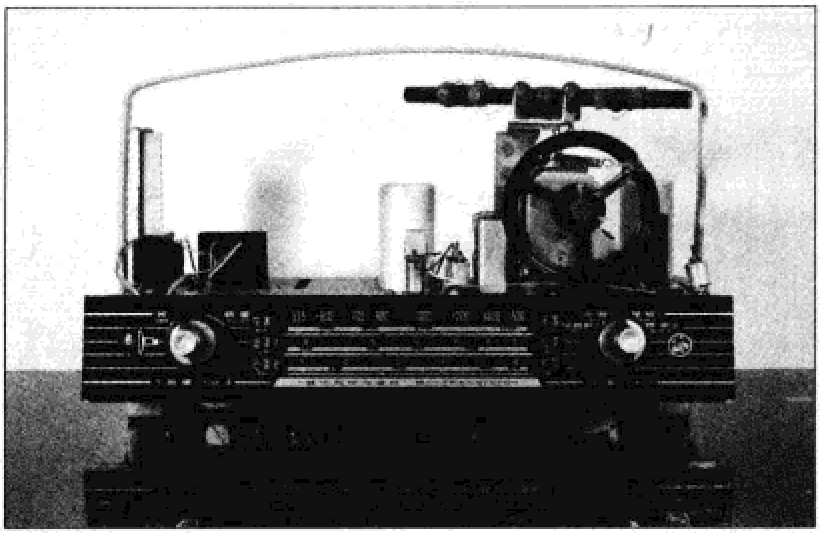
801收音机背面

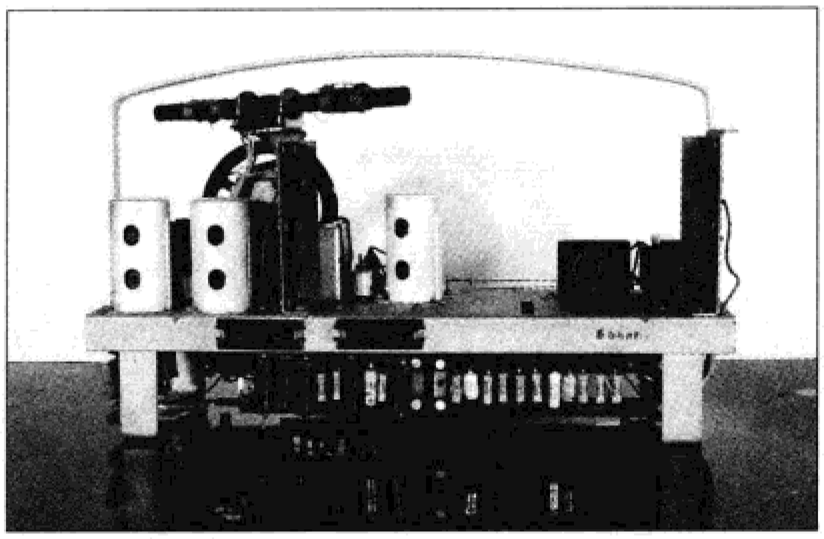


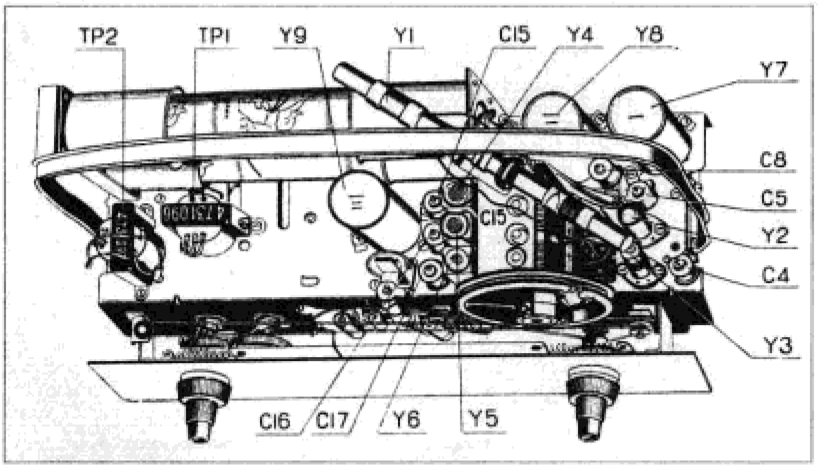
801收音机内部结构

凭借悠久的历史、雄厚的实力，南京无线电厂的收音机研制水平经常位居国内的前列。1953年，该厂生产出第一台全国产化的五灯电子管收音机；5年之后更一鼓作气，推出了熊猫牌1501、1502、1503、1401型电子管特级收音机，其势头之猛，令国内众多无线电厂家瞠目结舌。进入20世纪60年代，晶体管收音机开始崭露头角，南京无线电厂携50年代之余威，依然扮演着龙头老大的角色。熊猫牌B302、B303，B701、B702、B802系列收音机无论性能、质量，还是造型都无可挑剔。尤其是台式机B801，更是60年代国产晶体管收音机中的佼佼者。

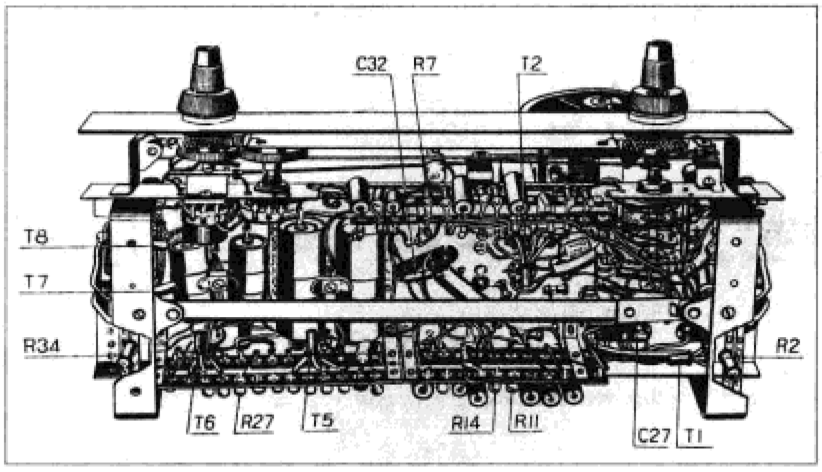
60年代国产晶体管收音机起步不


801收音机机芯正面

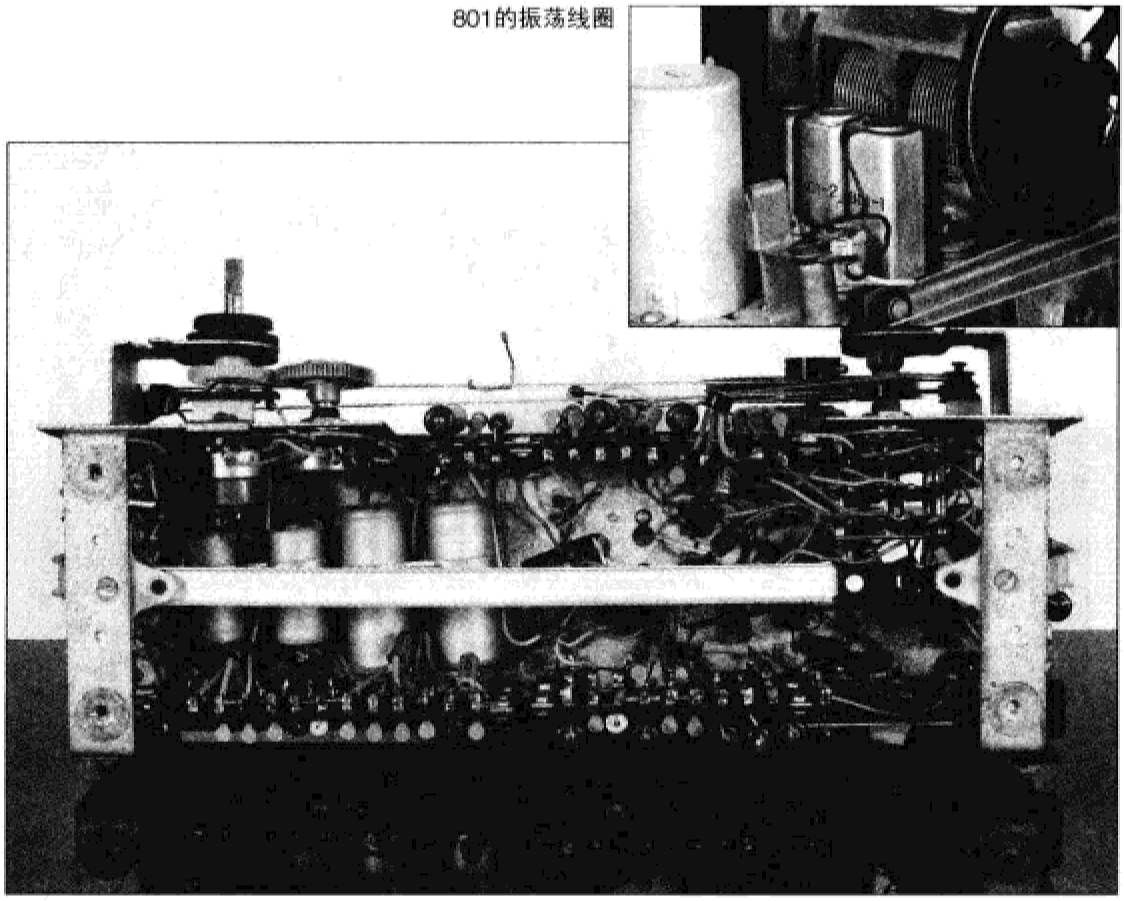

801收音机机芯后视



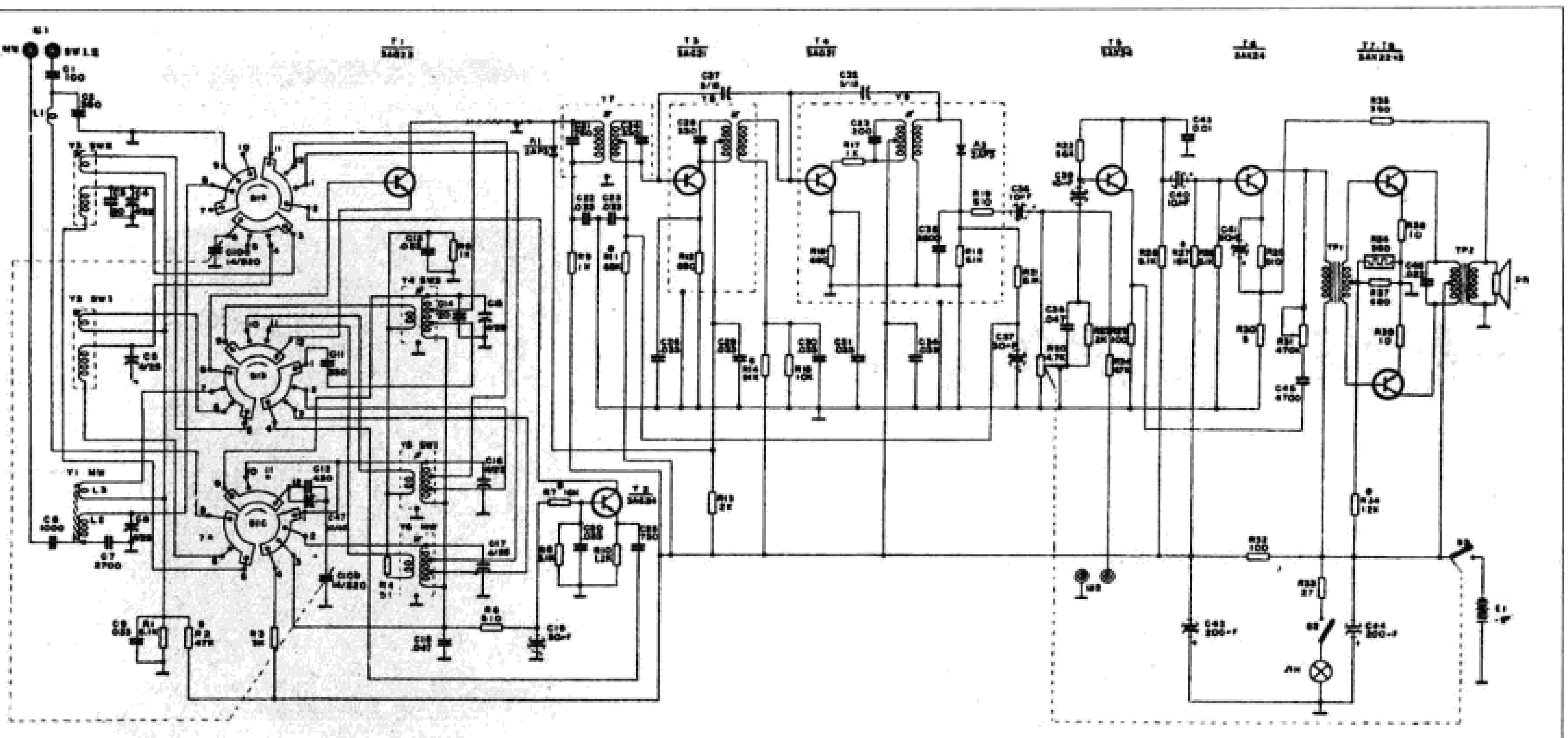
801收音机机芯及各元器件的位置



801收音机机芯及各元器件的位置

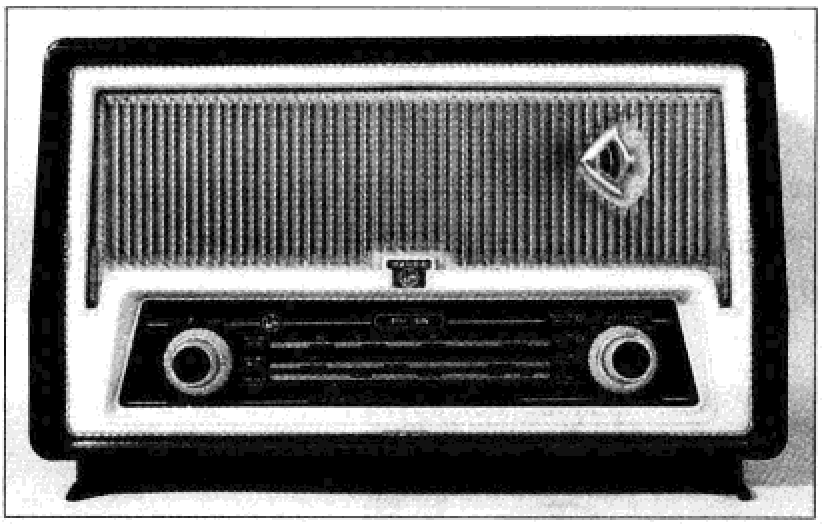
801的振荡线圈

801收音机底板

久，尚处于传统收音机时代。从外观尺寸看，可分为袖珍、便携、台式。从电路形式分，有再生、外差式，管子数量从单管到8管。综合衡量，8管台式机应该是当时最顶级的晶体管收音机了。同一时期其他品牌的台式晶体管机，能够与B801抗衡的，只有上海广播器材厂的312（7管），上海无线电二厂的飞乐（红灯）2J2（6管）、2J9（7管）寥寥数种。从制造工艺、元器件配置，以及电路设计等方面比较，熊猫B801绝对占优。实际收听效果，我的那一台B801，除自己换过音量电位器外，没有做其他调试，312、2J2、2J9我都各有几台可以上阵。对比收听时，B801的方向性最小、中波灵敏度最高，干扰最少，声音洪亮通透。其他收音机，除2J2-3的音质与B801接近外，别的指标就差得太远。而且我发现，由于

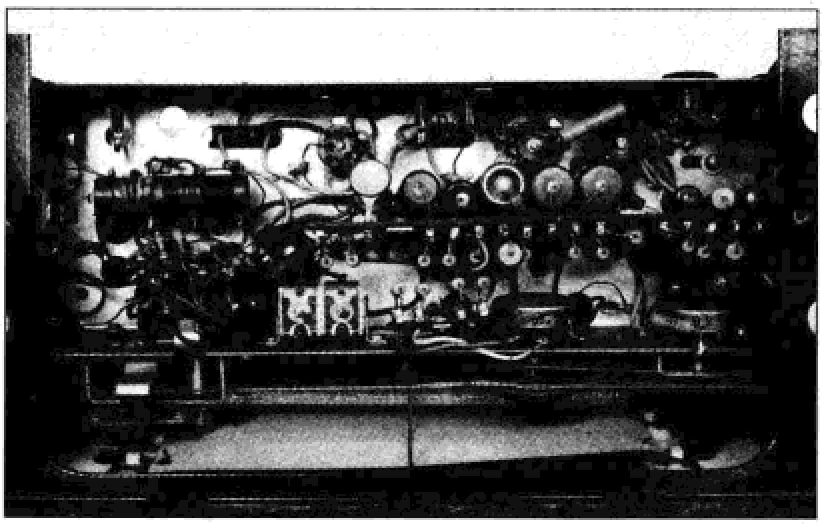


1.〔 * 〕R2、R7、R11、R14、R27、R34为調試电阻。
2.电容器数值在小数点以上者为微微法，在小数点以下者为微法。
3.电阻未注单位者为欧姆，例：10＝10欧姆，1K＝1000欧姆。
4.现在波段开关的位置为短波Ⅱ的位置。

801收音机的电路图（爱好者收藏的老资料）



熊猫601-3G电子管收音机



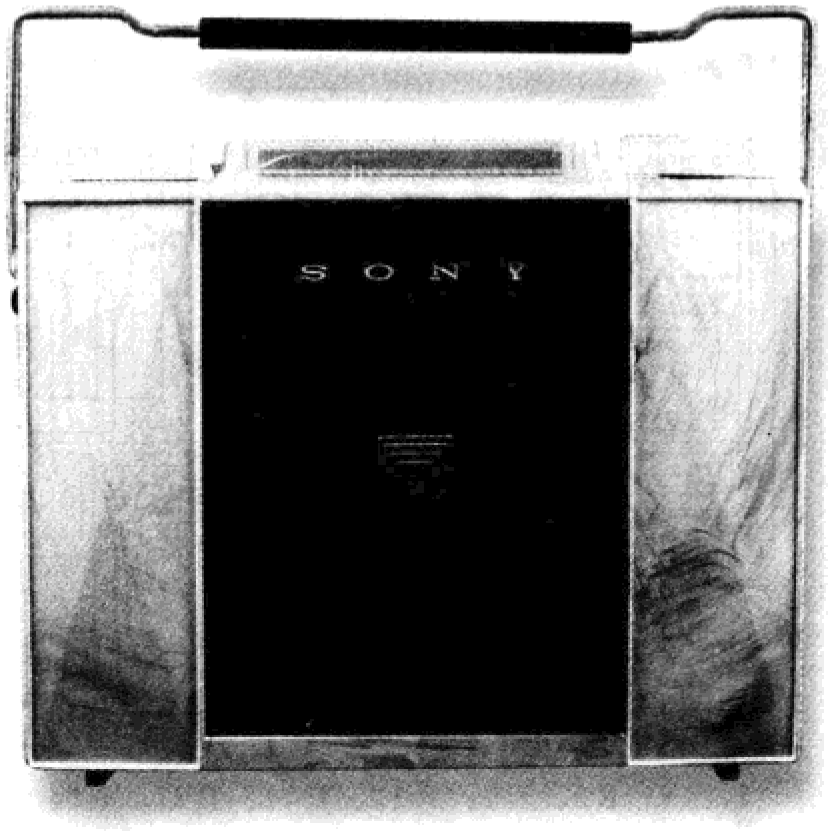
熊猫601-3G电子管收音机内部结构

B801的元件质量可靠，整机布局合理，50多年后的今天，只有使用频繁的电位器有磨损、波段开关短波接触不良（因短波使用少），其他部件依然良好可靠，因此保证了整机的接收性能。其他几种机器虽然都响，但性能下降较多（312尤其明显，看样子大的体积和空间是质量的保证）。我还有一台熊猫B701台式机，性能同样保持得很好。我还用熊猫B801与好评如潮的根德1000对比收听，中波灵敏度和声音保真度，都是前者胜出。当然，有人会说根德收音机可能不在状态。即使如此，问题是，它为什么不在状态？说穿了就是元件质量差，这也不是什么正当的理由。下面还是切入正题，介绍一下B801吧。

熊猫B801沿续了电子管时期的造型风格，与胶木机壳的熊猫601-3G非常相似，甚至就连内部元件的布局和走线都如出一辙。敦实厚重的双连，密封讲究的输出、输入变压器，自制的大型振荡线圈，完全继承了老熊猫的优良传统，保证了性能恒久不变。另外，B801在机内加装了框形铝质短波天线，这在国产晶体管收音机中是不多见的。电路方面，一级混频，一级本机振荡，二级中放，二级前置低放，一级推挽功放，是当时很典型的8管外差机电路。从机内元件生产日期推测，这台B801大概生产于1965年，属于早期的晶体管产品，有一只3AG14高频草帽管，后期则换成3AG24小管了。那只3AG14虽是M级别的管子，但质量仍然可靠，经受住了近50年的严酷考验。

一款值得收藏的名机 SONY TR-741

◎陈祖德

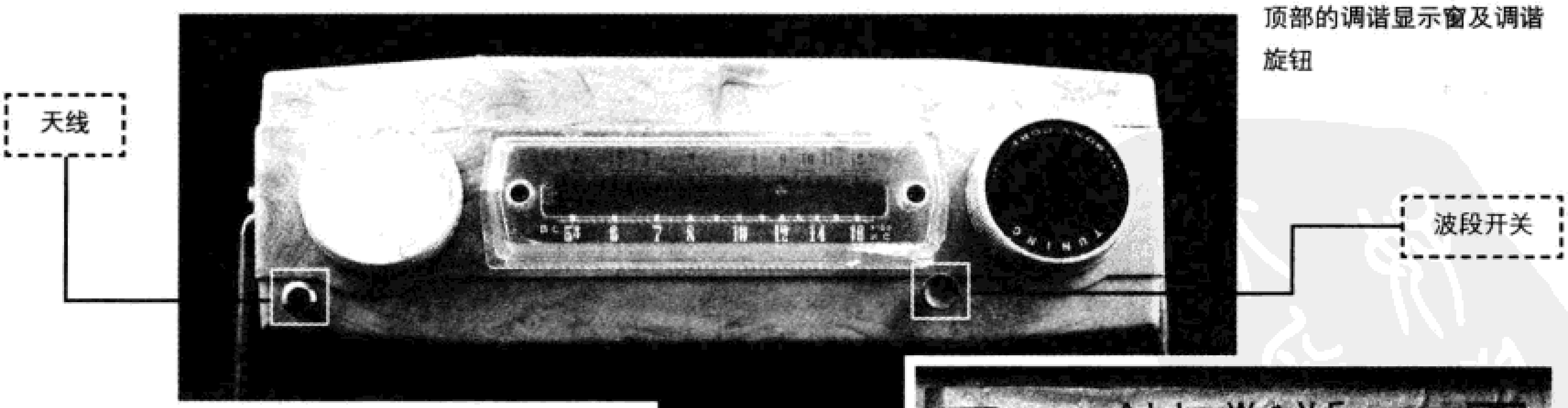


SONY公司在1955年把第一款半导体收音机投入市场，从那时开始，体积小、便于携带和省电的晶体管收音机便融入了人们的娱乐生活。

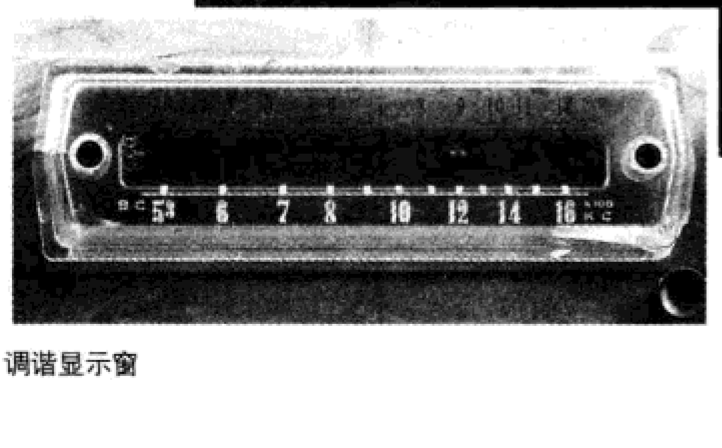
1958年1月SONY公司又推出了这款型号TR-741的中、短波两波段收音机，短波频率覆盖了3.9~12.1MHz，这样就一改前几款机器短波频率覆盖窄的缺陷，成为了当时真正的全波段半导体收音机。

下面还是让我们仔细品味这款已经50多年的机器吧。

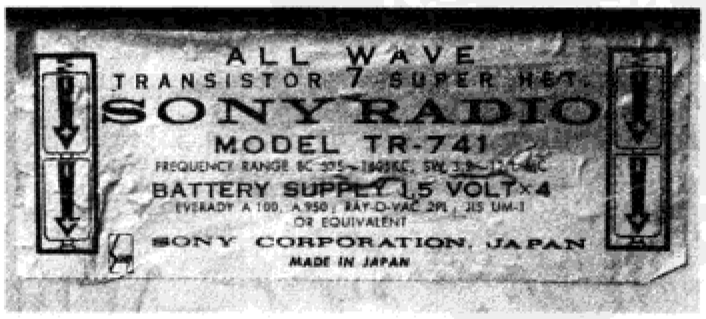
拿到这款收音机后立刻就被它漂亮的外表吸引了，白色大理石般的塑料机壳配上黑色的喇叭面板，中间一颗金色的SONY商标，真的是让人爱不释手。机壳是正、反面对称设计，调谐刻度盘和操作旋钮布置在机器的上方，两个大旋钮，一个用于调谐电台，另一个用于调节音量，整体布置非常简洁。波段开关的设计也是与众不同，即是用一个铜钮上拉和一按转换中波和短波。



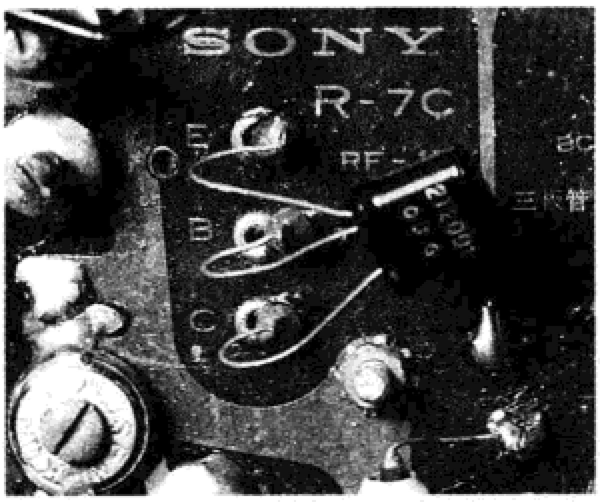
顶部的调谐显示窗及调谐旋钮

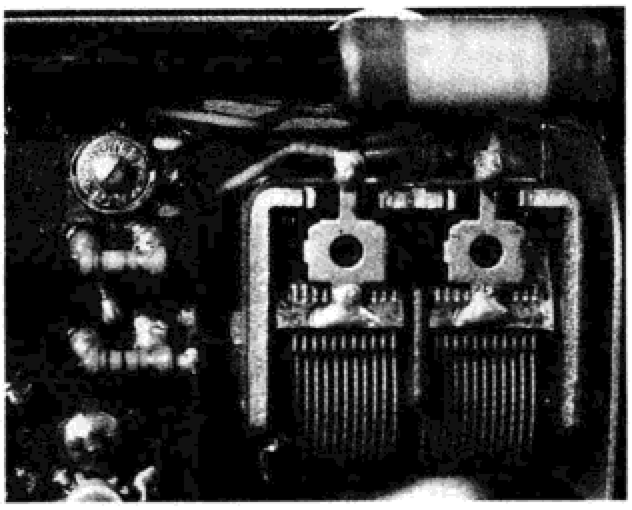


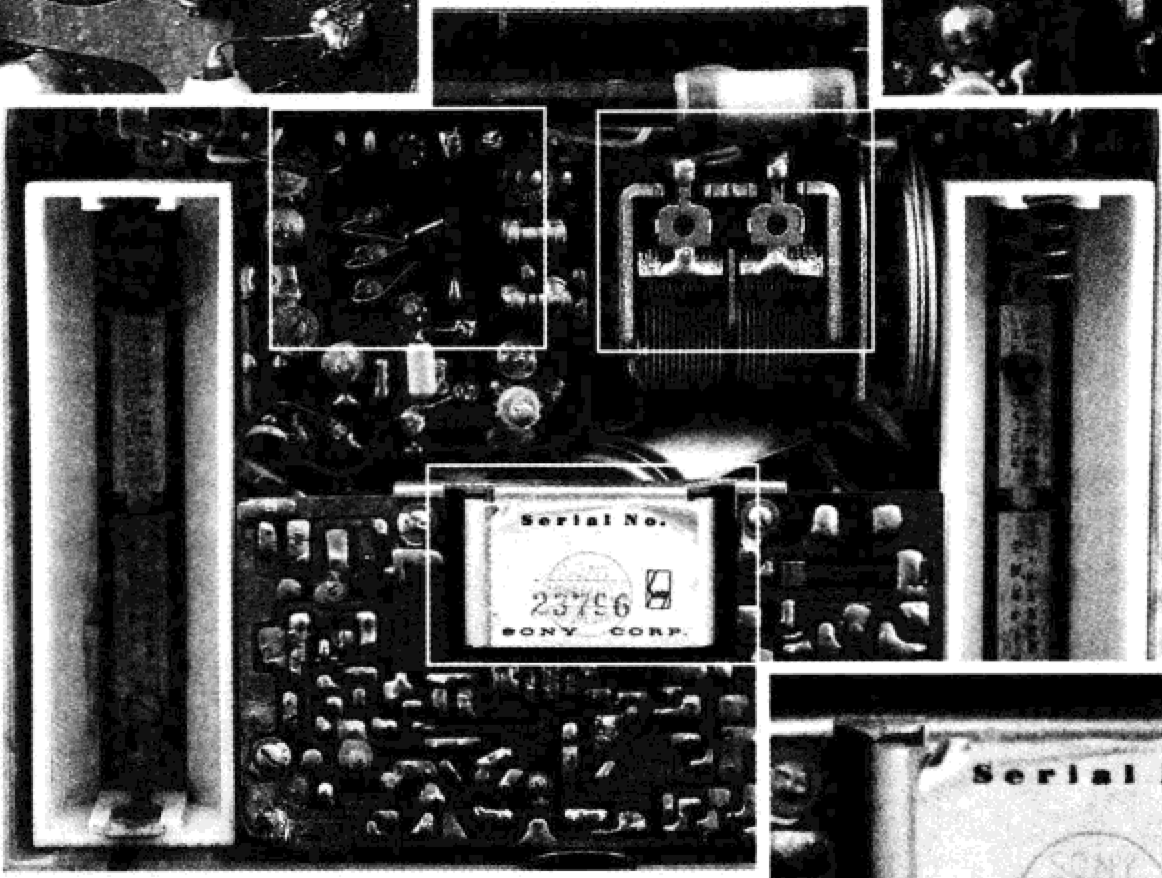
调谐显示窗



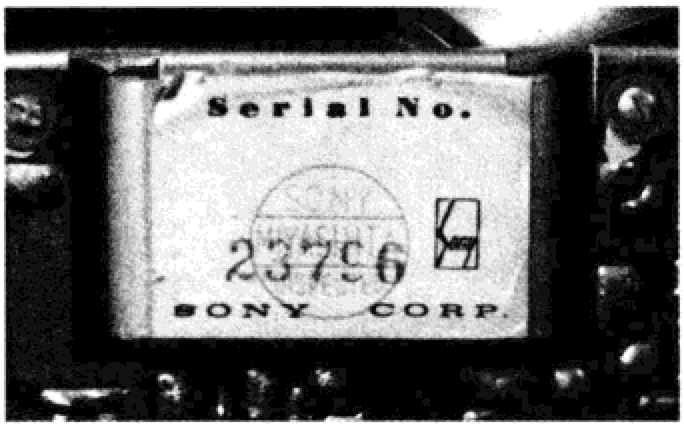
收音机背面的铭牌







内部结构



扬声器的铭牌

机器的后盖没有使用螺丝，而是用一个弹簧片来固定，所以拆卸非常方便。打开后盖后，首先映入眼帘的是一只与众不同的三极管，有着椭圆形的外表，这是SONY公司早期制造的晶体三极管（2T2001），该机一共用了7只这种形状的三极管，在后来生产的收音机中就没有使用这种样子的三极管了。机器的正中安放了一只椭圆形的钴磁扬声器，整机电路则是标准的超外差式电路。

在20世纪50年代，国际市场上的收音机主要是欧美产品一统天下，SONY公司早期出产的收音机的市场主要是在日本本土，所以每款收音机的产量并不多。据资料显示，这款机器才生产了15000多台，但是从其制造工艺和机器用料来看，SONY公司是在努力向国际标准靠拢。

这款50多岁高龄的机器到我手后，没有更换过任何部件，清洁后安装上电池就能放喉高唱了。

SONY公司在50年代末期还出品了几款收音机，如TR-63、TR-72等，由于产量不高，所以都是值得收藏的。如果有机会见到它们即可毫不犹豫收藏在囊中。Ⓦ

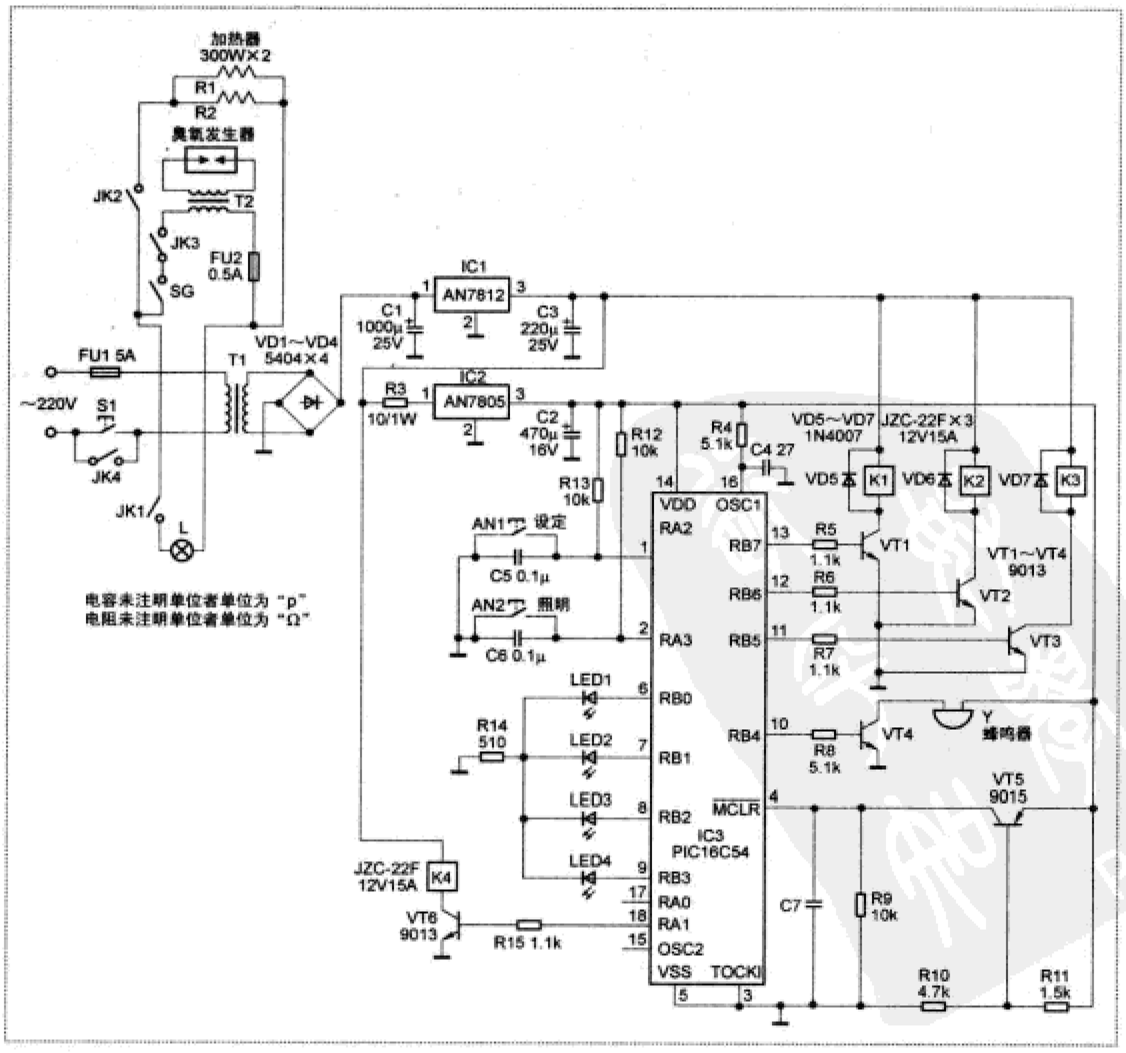
自己动手检修电脑控制消毒柜

◎王绍华

随着电子技术的发展，消毒柜已逐渐走进了百姓家庭，成为家电产品。当消毒柜出现异常时，只要掌握其基本原理是可以自己动手进行维修的，本文以高宝牌DXW-60A消毒柜为例讲解其维修方法。下面简要介绍工作原理与故障检修方法。

工作原理

高宝牌DXW-60A消毒柜采用微电脑控制，具有餐具臭氧消毒、干燥功能。其原理图如附图所示（根据实物绘出，元件编号系笔者所注）。当按一下主电源开关S1后，220V市电经电源保险管FU1加入电源变压器T1的初级，降压后的交流电压经VD1～VD4全波整流，C1滤波后获得16V直流电压，经三端稳压器IC1（AN7812）稳压后输出12V电压，一路作为控制继电器工作电源，另一路经R3限流送至5V三端稳压器IC2（AN7805）的1脚，稳压后从3脚输出5V电压作为单片机和蜂鸣器工作电源。单片机PIC16C54是美国Microchip公司产品，为双列18脚DIP塑封，RB0～RB7为可控8位双向I /O口，RA0～RA3为可控4位双向I /O口（只用了RA1、RA2、RA3）。OSC1、OSC2分别为振荡信号输入、输出端（本机只用了输入端）。TOCKI为定时器/计数器外部触发计数信号输入端（本机接地未用）。MCLR为复位端（低电平有效）。R4、C4构成RC振荡器，工作频率为4MHz，为单片机工作提供时钟信号。在单片机14脚有5V电压加入时，5V电压也同时加至复位三极管VT5发射极，此时由于C7两端电压不能突变，单片机4脚为低电平，随后5V电压通过VT5的 e、c极给C7充电，充到4脚电压升至3.8V时，复位完毕，单片机IC3开始进入工作状态，单片机IC3的18脚输出高电平，VT6导通，继电器K4常开触点JK4闭合代替S1，此时手即使离开S1按钮也无妨（此过程时间不大于1s）。此时可按时间设定按钮AN1进行工作时间设定（AN2为柜内照明灯控制按钮，当按一下后IC3的13脚输出高电平，VT1导通，继电器K1通电，常开触点JK1闭合，柜内照明灯L点亮，再按一下熄灭），每按一下AN1按钮，消毒、加热干燥时间累加15min（15 min起，最长时间30min），比如第一次按AN1时只有LED1点亮（表示工作时间为15 min），按二次AN1后LED2也同时点亮（表示工作时间为30 min）。在工作时间设定后IC3的11脚输出高电平，VT3导通，继电器K3常开触点JK3闭合，臭氧发生器通电工作，对餐具进行消毒（SG为门控开关，只有当柜门关闭后SG才闭合，才能进行臭氧消毒）。当设定消毒时间达到后，继电器K3释放，同时对应工作状态和时间指示灯熄灭，比如15 min达到后LED1熄灭，30 min达到后LED2也熄灭。当消毒程序结束后，消毒柜进入餐具加热干燥程序。此时LED3点亮（如果选择的是30min，则LED4也点亮），IC3的12脚输出高电平→VT2



高宝牌DXW-60A消毒柜原理图

导通→继电器K2常开触点JK2闭合→接通加热器R1、R2电源，加热器发热，对餐具进行加热烘干。当烘干时间15 min到达后，IC3的12脚输出低电平→VT2截止→JK2释放→加热停止，LED3熄灭（若烘干时间选择的是30min，则30min后LED4才熄灭）。整个消毒、加热干燥工作结束后，IC3的10脚会输出断续脉冲方波（持续时间约90s），经VT4放大后，蜂鸣器Y发出断续“嘟、嘟”声，告诉主人整个消毒加热干燥过程结束（在每按下按钮AN1或AN2一次时，IC3的10脚都有一次脉冲输出，经VT4放大后蜂鸣器会发出一声“嘟”的提示声）。在蜂鸣器停止发声后，IC3的18脚输出低电平→VT6截止→J4失电→常开触点JK4断开→切断整机输入电源。

故障检修

本文列举消毒柜常见故障。

1. 按下电源开关S1后，听不到JK4的吸合声（即JK4不能闭合代替S1）。

该故障说明电源或单片机工作条件不满足（实践表明IC3很少损坏），可先查IC3的14脚是否有正常的5V电压。如果没有，应对交流降压、整流、滤波、稳压等电路进行检查。如果正常，应对IC3的16脚时钟振荡电路元件R4、C4进行替换法检查。若故障依旧，说明很可能是IC3的4脚外接的复位电路元件有问题。

2. 不能臭氧消毒，但消毒指示灯LED1能点亮。

这说明单片机已进入了消毒程序，极有可能是控制电路或臭氧发生器损坏。可先查IC3的11脚是否输出高电平。若是，再查控制管VT3的b极是否大于0.7V。若也是，接下来查VT3的c极是否为低电平。若不是，说明VT3损坏。假若查得VT3的c极为低电平。说明继电器K3已通电。这时可测臭氧高压变压器T2初级是否有220V市电。如没有，很可能是门开关SG接触不良或保险管FU2（0.5A）熔断，若发现FU2已熔断，但更换FU2后再次熔断，则基本可判定是高压变压器T2的次级（高压绕组）发生匝间短路或臭氧发生器出现短路性故障。必须更换。若查得T2初级有220V电压，则可认定是臭氧发生器发生开路性损坏故障。

3. 不能加热但加热指示灯LED3能点亮。

这说明单片机能进入加热干燥程序，故障可能在加热控制或加热电路。可先查加热器R1、R2两端是否有220V电压。若没有，再查继电器K2到加热器的引线是否脱落。若正常，说明继电器K2动触点JK2未闭合或动触点氧化、烧蚀。应查控制管VT2的b极电压是否大于0.7V。若小于0.7V，应查单片机的12脚是否输出了高电平。若是，极有可能是信号传输电阻R6开路。如果VT2的b极电压大于0.7V，但c极不是低电平，极有可能是VT2损坏。若VT2的c极是低电平，则故障极有可能是JK2触点出现烧蚀致使不通。实践证明，由于加热器功率达600W，在冷态启动时电流较大，容易造成JK2触点烧坏。建议更换触点电流容量更大些的，比如20A的（原15A），以绝后患。

4. 柜内照明灯不亮。

如果确认灯泡良好，则基本可认定是控制电路出现故障，应对控制管VT1、继电器K1等相关元件进行检查。由于电路很简单，这里不再赘述。

夏普投影机自动保护停机故障检修一例

◎霍汉明

夏普XV-P100 型投影机工作不到1分钟就停机保护了。

分析与检修：此故障很可能是电路中某元器件特性不良，通电工作一段时间后特性变差，引起电路的保护动作。考虑电源与镇流器电路的故障率较高，故先对电源和镇流器电路进行检查。经检查，这部分电路未发现异常，但装上机盖后，工作1分钟左右又出现上述的故障现象。分析故障可能是机内温度升高、温度检测保护电路动作所致。试采用电风扇对该投影机强迫风冷，果然未再发生故障。

温控电路主要由运放块IC301（NJM2508）及热敏电阻TH3001组成。其中，一路输出通过VT3005（2SC3402）、VT3004（2SC3399）送至IC302（M5237L）。控制VT3001的基极电位，可使排风扇FA702根据机内温度改变转速，保证足够的排风量。另一路与风扇转速检测构成“与”门的关系，若风扇转速到极限而机内温度过高，则输出信号通过VT2018（2SA1266）、VT2017（2SC3198）使IC2001的8脚为低电位“L”，进而使IC2001保护动作，关闭电源。通过分析判断是测量电路有故障，试采用电热吹风机对检测电路加热，在加热中机器出现保护，此时测得风扇端电压为0.5V。而调整管VT3001（2SA1307）输入为15V，该管受控于IC3002（M5237L）。其控制端正常时为1.3V，该端外接偏置电阻R3018（27kΩ），其下端接VT3004（2SC3402），而VT3004正受控于运放风扇端电压有微小变化。于是将R3018改为10 kΩ，R3039改用22 kΩ的可调电阻，重新调整IC3002控制端为1.3V，使风扇端电压为8V，则温度升高时风扇转速加快，装上机盖后连续工作数小时，机器一直工作正常，证明故障确已彻底排除。

自己动手修复电磁炉线圈盘

◎刘福胜

电磁炉是利用电磁感应加热原理的厨房烹饪器具，它具有高效、节能、无明火、无烟气等特点。其内部的高频感应加热线圈（线圈盘）是电磁炉加热的核心部件，它损坏的概率虽然没有IGBT管和其他器件那样高，但更换它却成本不低（50元以上），因此本文以美的电磁炉线圈盘为例介绍电磁炉线圈盘的检修方法。

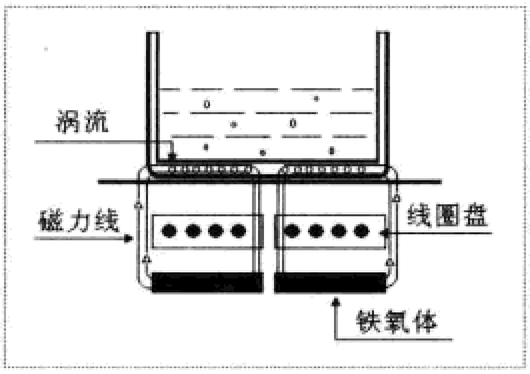


图1

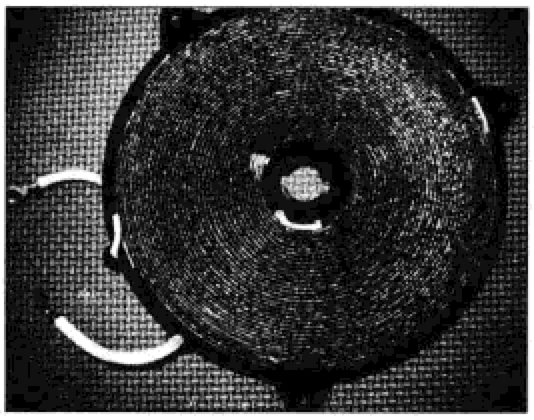


图2a

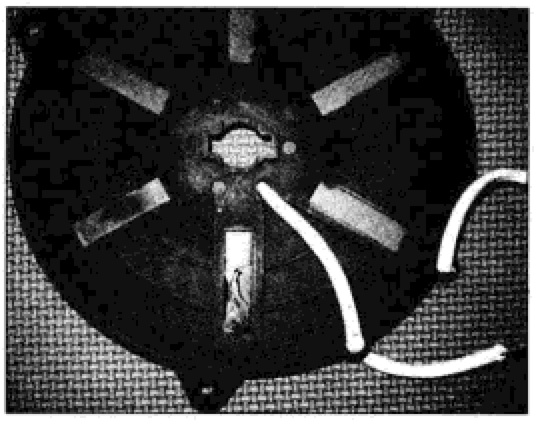


图2b

线圈盘结构：在直径约19cm的阻燃塑料圆盘上，用22根0.31mm漆包线缠绕成一股，并在圆盘上从里向外紧密绕制33匝。同时，在线圈盘下面呈均匀角度径向镶嵌有6块铁氧体长条，其作用在于同锅具底部形成闭合磁场通路，阻断磁场的向下穿透，聚集交变磁场并将其完全反射给锅具（图1），提高电能到磁能的转换效率。

线圈盘损坏情形可大致划分成两类：（1）因电磁炉灶板（微晶板/陶瓷玻璃）受震破碎或者炸裂，汤、水等流体物质通过缝隙、破碎孔侵入到线圈盘上，造成线圈某处部位匝间短路而烧毁，这种情形在火锅类饭店屡见不鲜。（2）电磁炉长期在温差变化较大，通风不畅的环境中使用，电磁炉内部的线圈盘偶然发生结露、潮气淤积，腐蚀并降低线圈匝间绝缘电阻，最终烧毁线圈盘。在废掉的线圈盘表面可明显看到多处漆包线焦黑、烧断（图2a），可谓斑痕累累。严重烧灼的部位若临近铁氧体块，则会出现瞬间爆裂（图2b），其周边塑料也将烧熔。

这看似简单的线圈盘，但若徒手绕制，会因线圈不能及时固定在盘面上而呈现松脱、松散不够紧密的现象，制造过程实属不易。当然，如果你具备相关的材料和条件，愿尝试一下DIY的乐趣，请随我一起踏上这修复之路吧！

首先，要清点原绕制线圈的匝数，之后再拆除线圈盘上面的漆包线。用精密卡尺测量单根漆包线的直径，并数出合股后的总根数。笔者曾经绕制过美的、富士宝这两款线圈盘，数据相同，均采用0.31mm线径的漆包线，放线长度14m，

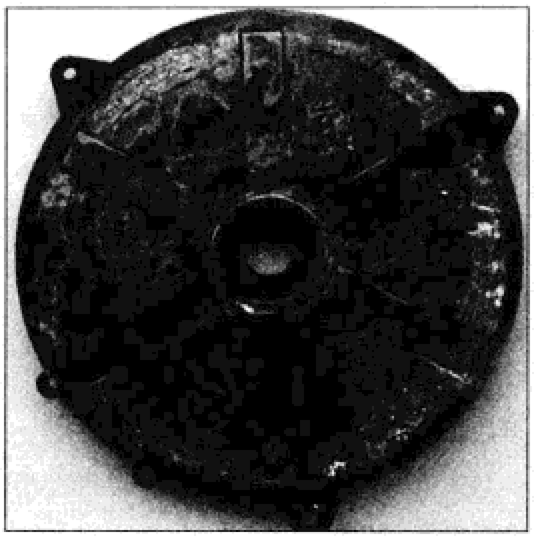


图3

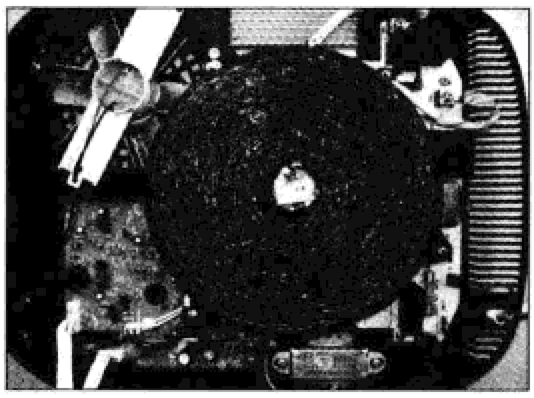


图4

共计22根均匀缠绕合并成一股，原机绕制33匝。实际绕制因无法达到厂家的细密与紧凑，塑料盘最多只能容纳30~31匝，实践证明，如此少去几圈对性能并无影响。放线过程虽无严格要求，但应在干燥、清洁的环境中进行，要避免漆包线结扣、甚至是摩擦脱皮等硬性损伤情形的发生，为降低合股后的漆包线的合成应力，不利多次盘卷，可缓缓缠绕在报纸卷上待用。

拆除线圈后的塑料盘因残留绝缘漆的缘故而凹凸不平，此时，先取出松动但完整的铁氧体块单独放置，避免人为损坏。在清除破碎铁氧体块的同时，对凹槽内烧

万利达电磁炉自动关机故障的检修

◎季成荣

一台万利达MC18－F7型电磁炉，开机一切正常，但3~5分钟后就自动关机。休息一段时间后，再开机仍如此。

电磁炉自动关机故障一般是由于IGBT温度检测电路、锅具温度检测电路、电压检测保护电路及过零检测电路等异常导致保护动作而引起的。

遵循先易后难的原则，首先检测IGBT温度检测电路（见图1），测得 R19和C22都正常。再用电烙铁对热敏电阻RT1进行加热，观察其阻值变化是否正常。经检测RT1正常，接着检测锅具温度检测电路（见图2），经检测RT2、R1、C2、R2等元件均正常。经以上检测，证明IGBT温度检测电路及锅具温度检测电路正常。然后对过零检测电路进行检测（见图3），用示波器测量CPU的12脚波形（其正常波形如图4所示），所测得波形峰－峰值很小，说明过零检测电路有问题。测得R18、C4、R5、R4等元件都正常，当用同规格（IN4148）二极管替换VD4时，故障现象消失，机器工作能正常了。这说明该故障是由于VD4热稳定性不良引起的。

过零检测电路的主要作用是检测电网电压中的正半周与负半周的过渡。该电路的工作原理是：当交流电网电压处在上半周或下半周时，电网中的脉冲电压经电阻R18、R5分压，再经R4加到CPU的12脚上。当电压大于5.7V时，VD3导通，而小于-0.7V时，VD4导通。这样就形成了与电网电压同步的脉冲信号（见图4）。该脉冲送至CPU，由CPU输出相应的控制信号使电磁炉在不同的状态下工作。

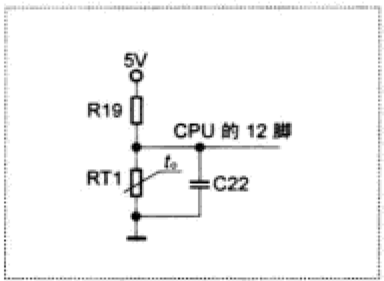


图1

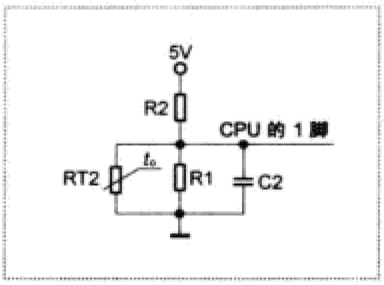


图2

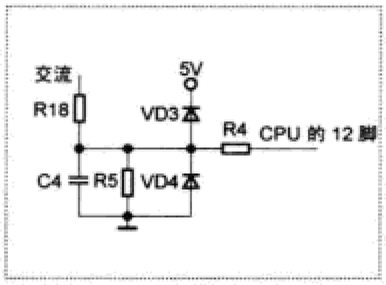


图3

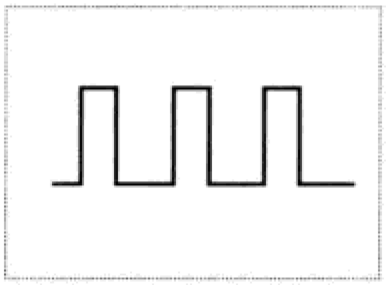


图4

熔的地方，持刻刀剔除炭化成分，再用手电转夹持砂轮头大致磨平塑料盘。对损坏的铁氧体，可以用体形相近的中波收音机扁平磁棒代替，用易购的J39胶粘牢，实践证明效果极佳。

面对清理完的盘架（图3），内心不免有些跃跃欲试。其实，高难度的操作刚刚开始。线圈绕制过程远非骨架式变压器那样简单，试想，在平面上绕制线圈，没有辅助工具便成了难以完成的任务。1:1混合胶J39具有快速凝固，无腐蚀且耐高温，实时粘牢、固定线圈非它莫属。线圈一头从圆心小孔向下穿过并留出适当的余量，便可以细致紧密的沿圆心向外缠绕，边绕边将适量的J39呈均等角度涂敷在盘面与线圈之间，再用十指整齐压平，待三四分钟即可固化。内圈绕制，手指可同时固定3圈的范围，越往外圈绕制，手指所能同时固定的圈数就越少。而且，每涂胶固化一次，指尖上都会粘满残留的胶体。当然，如此反复，一天的时间足可完成。只是，手工绕制无法做到紧密细致，以线圈盘绕满为止，一般会比原盘匝数少上2~3圈，这无关大碍。笔者绕制第一个富士宝线圈盘时，因缺乏经验，只用木片和线绳，勒、夹来固定，导致线圈松散而参差不平，后期烘干绝缘漆的时候，在200℃的高温下，塑料盘局部融化变形，但装上使用一年有余，火力强劲并无异样感觉。绕制完的线圈盘，应均匀涂刷绝缘漆，放置片刻利于漆液渗透、再送入130℃（不要高于150℃）以下的恒温箱中烘烤几个小时以上，驱除刺鼻性气味，同时令绝缘漆完全干燥凝固。而后，便可耐心仔细地刮除每一根线圈头部的绝缘漆皮，不可漏刮，这点尤为重要，套上绝缘管，焊牢线鼻子（图4），看着亲手打造的线圈盘被装入原机（线圈中心线头接300V，外圈线头接IGBT管C极，接反未见异常），兴奋无比，正好用修复好的电磁炉烧壶热水来洗去你手指上的胶体残渣吧！

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台久量LED-617型台灯，每次充电后只能使用20~30分钟，之后发光亮度明显下降，而以前刚买来的时候每次充电后至少能用3小时，不知何故？怎么解决？

（湖北　虞斌）

A 这种故障主要是台灯内的蓄电池不良所致。该台灯采用额定容量为800mAh、使用寿命大于500次（充放电）的密封铅酸蓄电池，供电给由18个LED组成的照明灯。正常情况下，台灯每次充电12小时后可使用4小时(亮挡)~8小时(暗挡)。如果铅酸电池本身质量不佳或者使用不当，蓄电池就会提前老化或损坏。所以在使用中必须注意：当LED灯泡光线暗淡时就应停用并及时充电，不要等到LED无光时才充电，否则电池极易受损。如果长期不用，务必每隔2~3个月充电一次，不然会使电池容量缩小或失效。此外，充电时间也不是越长越好，通常控制在12~15小时内。对于已经缩容的蓄电池，可以试用以下方法补救，就是充电20小时，然后使用至灯光暗淡，再如此重复3次，可能会有一定改善，倘若不行，那就只有换蓄电池了。

（王德沅）

Q 有一台格兰仕黑金刚微波炉，最近出现一种奇怪的故障，不加热，但转盘会转动，经查，高压变压器、高压二极管和电容等均正常，高压保险丝也是好的。怀疑磁控管损坏，但拆下检查，灯丝是通的，而且与外壳绝缘，打开磁控管外壳，壳内干净，无污垢等痕迹。但是将其放到另一台微波炉中却能正常工作，换上一个新的磁控管后，该机也能加热了，这是何故？该管还能用吗？

（湖南　萧长新）

A 将磁控管安装到另一台微波炉中能正常工作，说明管子基本正常，故障一般是微波炉高压电路的元器件接触不良所造成的，维修时重点是检查高压电路元器件的接触状况。维修实践表明，通常以磁控管灯丝接插件松动或表面氧化、高压保险丝接触不良，以及控制继电器接触不良最为多见，只要认真检查，不难找到故障所在。值得提醒的是，高压保险丝接触不良的故障往往比较隐蔽，特别要重视。

（王德沅）

Q 新购一块西部数据（WD）Elements Portable 系列2.5英寸250GB移动硬盘，由于随机附送的USB数据电缆太短，于是就通过USB HUB集线器与电脑连接，但发现传输速度好慢，拷贝一个100MB的文件竟需要2分钟左右，而用随机数据线临时连接试验，只需要10秒左右，这是何故？怎么解决？

（山西　彭小云）

A 传输速度慢的原因主要是使用了USB1.1接口标准的HUB集线器所致，由于USB1.1集线器的传输速率是1.5Mbit/s（兆比特每秒），比USB 2.0慢许多。而现在的移动硬盘基本都支持USB2.0，用了这种集线器后等于设置了一个传输“瓶颈”，从而导致拷贝速度大大降低。对此，比较简便实用的方法是换用一根质量较佳、长度足够的USB电缆（质量差的电缆可能使硬盘不能正常工作）。另外也可设法安装一个可靠的前置USB插座，这样使用随机的USB连线就比较方便了。

（王德沅）

Q 一台飞利浦FDS632型护眼台灯，使用中发现，有时灯突然就不亮了，搬动或摆弄几下又会点亮，有时位置放得不好甚至无法开亮台灯。曾怀疑是电源插头和灯管灯头接触不良所致，但是检查后没发现什么问题，电源连接线路也完全正常，这是什么原因？

（江西　万户忠）

A FDS632 型护眼台灯采用飞利浦 PL-L18W 节能灯管，选用工作频率大于 60kHz 的高频电子镇流器，具有消除频闪，减轻眼睛疲劳，防止近视的作用，很受大众青睐。造成所述故障的原因大都是灯管与灯座接触不良。由于两者的配合较紧，不少用户往往插入大半就认为插好了，其实并没接触好。所以，只要把灯管针脚完全插入灯座就能解决问题（若灯脚、灯座沾有污垢等物，必须先予彻底清除）。此外还有一点易被人忽视，该机设置了倾倒开关，在台灯倒下的瞬间即断电熄灯，以防出现安全隐患。如果倾倒开关不良，也可能引起这种故障，可拆卸检查修理。

（王德沅）

Q 新购一个台电酷闪4G闪盘，使用效果还不错，该U盘插入电脑USB插口后指示灯就常亮，读写文件时指示灯闪烁，但有时读写十几MB的较小文件就看不出闪烁，不易区分工作状态，可能造成误操作或损坏文件，看到有些牌子的U盘是插入电脑后指示灯闪一下光就熄灭，工作时闪烁，复制较小文件时也一样，不知这个电闪盘能否改成这样？

（广东　祁连时）

A 能，可用闪盘量产软件 MFPT V1.65.16.80 来实现。请首先在电脑上备份好闪盘中的文件。然后下载 MFPT 软件并安装在电脑上，再从开始→程序→ MFPT，打开软件，点击“设置”，在弹出的界面中找到“LED 设置”栏，在“空闲状态”项选择“关”，“闪烁间隔”是闪盘读写时指示灯的闪烁频率选项，可不改动或根据自己的喜好选择，选完按 F5 确定。最后，点击软件主界面的“开始”，闪盘开始低格化，完成后退出软件，再退出闪盘重新插入电脑即可。

（王德沅）

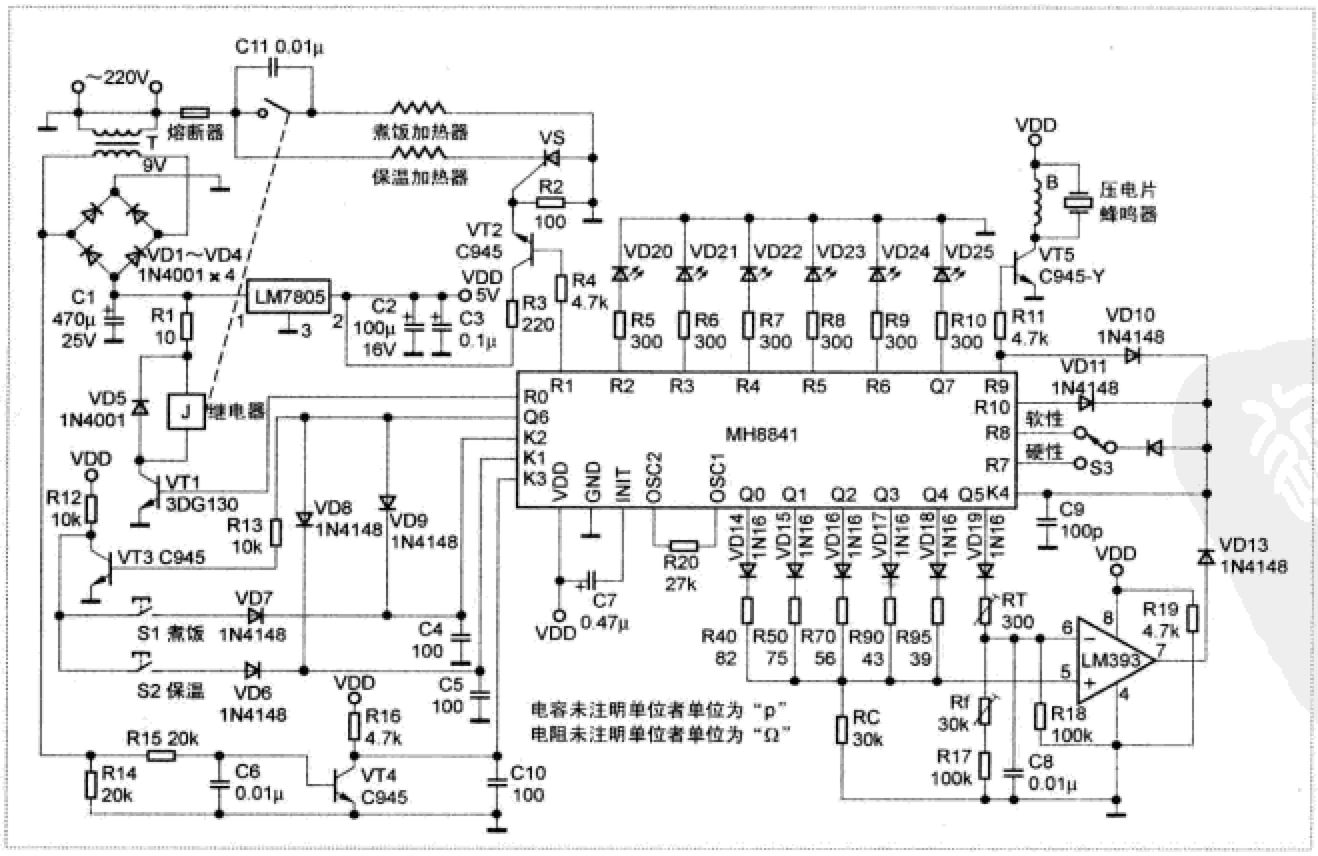
自己动手检修电饭煲

◎余俊芳

电饭煲已经成为人们日常生活不可缺少的家用电器了，本文以希贵GDS70-BI型程控电饭煲为例介绍电饭煲的基本原理及检修方法。

工作原理

希贵GDS70-BI型程控电饭煲是以单片机MH8841为核心控制电路的智能型程控电饭煲，其电路见附图。MH8841单片机内部固化了煮饭的6个程序，即：吸水、加热煮饭、维持沸腾、再加热、焖饭、保温等过程。上述每一过程单片机都会根据监测的温度来控制加热器的功率大小和加热的时间，从而保证煮出的饭既松软可口又节省电能。当将电饭煲电源插头插入电源插座后，220V市电经电源变压器T降压、VD1～VD4整流、C1滤波后得到约9V直流电压。一路供给三端稳压器（LM7805）的1脚，经稳压后得到5V电压（VDD）为单片机及相关控制电路提供电源；另一路经R1给继电器供电。有必要指出：单片机INIT端是复位端，在刚接通电源时，复位电容C7两端电压不能突变，所以+5V感应电压加至INIT端。但随着对C7充电的不断进行，INIT端（C7的负极）电压逐渐降低至0V，完成复位任务，初始化工作完毕，单片机执行固定程序。顺便提及：单片机OSC1、OSC2为时钟振荡端，是为单片机内部提供工作时钟信号的。但本电路没有使用内部时钟，而是由电源变压器T次级输出的9V、50Hz交流电经R14、R15、C6、V4等整形放大后形成50Hz方波信号送至MH8841的K3端作为工作时钟时基信号。在单片机完成初始化工作后，若按下温度控制煮饭开关S1，则单片机K2端为高电平，电饭煲开始工作。单片机执行内部ROM（只读存储器）中的吸水程序。即单片机（MH8841）的R0端输出高电平，使晶体管VT1导通→继电器吸合→煮饭加热器通电。与此同时，设置在锅底的测温热敏电阻RT开始检测锅内水温，并通过电压比较器传至MH8841的K4端，于是R0端会间断输出高电平，使煮饭加热器间断加热，以维持锅内水温保持在40℃左右一段时间（这个温度让米粒充分吸收水分，从而增加热传导性，保证煮饭时米粒能均匀加热）。接下来R0端又持续输出高电平，使煮饭加热器持续加热，导致锅内温度继续上升，即进入加热煮饭程序。这里要说明的是：电压比较器（LM393）、热敏电阻RT（位于锅底）、Rf（位于顶盖内）、电阻R17、R40、R50、R70、R90、R95、RC等组成温度检测电路，电压比较器的5脚（同相输入端）电压$U5$由RC与R40、R50、R70、R90、R95中的一个共同决定。LM393的6脚（反相输入端）电压$U6$由热敏电阻RT、Rf与R17共同决定。温度升高时RT（负温度系数热敏电阻）阻值减小→$U6$↑。在锅底温度低于



希贵GDS70-B1型程控电饭煲原理图

设定值时，电压比较器$U5>U6$，其输出端（7脚）输出高电平，经二极管VD13分为两路，一路直接加至MH8841的K4端。另一路经VD12加至米类选择开关S3，由S3加至MH8841的R7端（硬性米）或R8端（软性米）。S3由人为控制，它与R7端连通时，表示选择的是硬性米（比如早稻米），单片机会自动延长吸水和加热时间。S3的动触头与R8端连通时，表示选择的是软性米（比如糯米或晚稻米），单片机会自动缩短吸水和加热时间。

MH8841内ROM固化的煮饭程序共设置了5个温度检测点，各程序段的设定温度由单片机的输出端Q0～Q4中哪一个出现高电平决定，届时VD14～VD18之中有一个导通，比如Q0为高电平时，VD14导通，R40与RC的分压值决定$U5$的值，即决定设置的温度值为40℃。同理，Q1端为高电平时VD15导通，R50与RC的分压值决定$U5$的另一值，即决定设置的温度值是50℃。如此类推，Q2、Q3、Q4端分别为高电平时，$U5$的电压值，即温度值分别是70℃、90℃、95℃。当煮饭加热器通电后，锅底温度会升高，故热敏电阻RT的阻值下降，电压$U6$会上升，但锅底温度达到40℃及以上时，由上述可知，$U5$会出现5个特定高电平值，届时它会与对应的$U6$值进行比较，从而决定电压比较器的 7脚输出的电压正、负极性及电压大小。显然，当6脚电平$U6>5$脚电平$U5$时，输出端电压$U7$为负，VD13截止，单片机K4、R7或R8端得不到高电平信号，按照事先设定的程序，单片机会使煮饭加热器停止工作。只有当$U6<U5$时……$U7>0$，VD13导通后，K4、R7或R8端在一段时间内才会有5个特定的高电平值，按照程序，煮饭加热器会按预定时间加热，并自动转入下一个工作过程。如果在某一工作过程超时，单片机会自动终止程序而转入保护程序。比如，在从40℃～50℃加热过程中，如果所用时间超过1000s（秒），单片机会认为出现故障，并一直持续从R9端输出高电平，使晶体管VT5导通，让报警器（蜂鸣器）发出报警声。如果在90s内不人为切断电源的话，单片机的R0端就会输出低电平，使煮饭加热器停止工作。这是为了防止温度传感器RT与锅底接触不良或损坏，以及锅底与加热盘之间由于杂物接触不良，导致煮饭不能正常进行或发生意外而进入了设置的保护程序。

在加热煮饭程序中，保温控制开关S2是闭合的，当锅内温度超过95℃以上时，锅内就开始沸腾，这时MH8841的K1端为高电平，R1端输出高电平，使VT2导通→高电平经VT2加至单向晶闸管VS控制极→VS导通→保温加热器得电工作。锅内沸腾一段时间后，维持沸腾阶段结束。于是MH8841的R0端输出低电平→VT1截止→继电器释放→煮饭加热器停止工作，温控煮饭开关S1也自动断开。靠保温加热器继续加热（功率约为煮饭加热器的1/4），将锅底水分吸干，直至饭熟。饭熟时，MH8841的Q6端输出高电平（此前输出低电平）→VT3导通→VT3集电极输出低电平→经保温温控开关S2、VD6使单片机K1端为低电平。由于S1已断开，故K2端也为低电平。于是单片机R1输出低电平→VT2截止→单向晶闸管关断→保温加热器断电停止工作，再加热程序结束，电饭煲进入焖饭程序。大约经12min（分钟）后，焖饭程序结束，单片机R9端输出高电平→VT5导通→蜂鸣器发出声响通知用户取饭。这时如不取出米饭，则转入自动保温过程。当顶盖内热敏电阻Rf测到锅内温度下降至70℃以下时，单片机R1端会自动输出高电平→VT2重新导通→VS导通→保温加热器重新通电进行加热。当温度升至70℃以上时，单片机R1端又输出低电平→保温加热器停止加热。然后重复上述过程，使锅内温度始终保持在70℃左右。最后补充说明：二极管VD8、VD9是单片机模式选通二极管，它们的接入可以使发光二极管VD20～VD25分别在吸水、加热煮饭、维持沸腾、再加热、焖饭及保温各程序中分别点亮，例如在吸水过程中，单片机R2端输出高电平，VD20点亮。进入加热煮饭过程，VD20熄灭，VD21点亮（也就是每个程序中只有一个二极管点亮），以告知用户电饭煲工作时所处的是哪个程序。

故障检修

本文主要列举该电饭煲常见故障的检修方法。

1. 不能加热，所有指示灯均不亮。

该故障说明电源可能有故障或单片机电源、复位、时钟振荡（含单片机本身）电路有问题。可先检查C1正极是否有约9V直流电压。若没有，应检查电源插头是否没有插好。若测得电源变压器初级有220V电压，就应再查电源变压器次级是否有交流9V电压。若没有，说明电源变压器有问题。若变压器次级交流9V电压正常，则说明整流、滤波电路有故障。假若测得9V直流电压正常，就应再查三端稳压器LM7805的3脚是否有+5V电压输出，否则说明LM7805有故障。若查得5V电压正常（含单片机5V供电端正常），就应再查复位电容C7是否正常。若C7正常，应再查时钟时基信号提供电路元件（即R14、R15、C6、VT4）等是否正常。若均无问题，则说明单片机MH8841损坏。但维修实践表明：该故障通常为电源插头与电源插座接触不良或三端稳压器损坏或焊点裂纹致使电源丢失所致。

2. 通电后发现吸水、加热煮饭、维持沸腾、再加热、焖饭、保温等某过程指示灯点亮，但蜂鸣器发出报警声，随即电源关闭。

某一指示灯亮，说明在执行该程序时超时，即遇到障碍，单片机已自动终止固有程序而转入保护程序。这有几方面的原因：一是温控器失效或变质，二是温度检测电路元件有故障致使检测有误，导致单片机不能有效识别而执行程序，三是控

一个二极管损坏引发的数字卫星接收机故障

◎霍汉明

一台Glomax 5066数字卫星接收机，开机无任何显示，无图无声。

分析与检修：打开机盖，直观检查发现开关电源保险管F1发黑，里面的保险丝熔断了，但其他电路元件未发现明显的损坏迹象。更换保险管后开机，测得各组电源输出的电压都正常，但接收不到任何信号。用另一台数字机与室外天馈系统连接，同样接收不到信号，断定高频头已损坏。更换高频头后，用故障机试收，只能接收到水平极化信号，接收不到垂直极化信号，控制数字卫星接收机在水平、垂直极化状态间切换，实测始终输出18V极化电压，这说明LNB供电电路有故障。该机LNB供电电路由电阻、电容、二极管、三极管等常用元件组成，极化方式切换由VT401、VT404等组成的开关电路完成。当主芯片发出水平极化指令时，与主芯片控制端连接的开关电路中VT401、VT404导通，LNB供电电路输出水平极化电压，垂直极化电压则是经二极管VD405、VD407、VD408、VD409降压后获得。该机只能输出水平极化电压，故障应发生在4只二极管组成的降压电路中。经查VD408已损坏，更换VD408后，数字卫星接收机接收情况恢复正常。

制或执行电路有元件损坏，致使这一程序无法执行。比如VT1开路性损坏或继电器故障，就会导致煮饭加热器无法工作。那么在通电后就会发现吸水指示灯刚点亮不久，就会出现报警声；四是内胆锅底变形，使之与煮饭加热器（电热盘）接触不严密，致使传导热阻增大，导致加热过程超时。检修这种故障可先外观检查锅底是否平整、反面是否有污垢。若有，应清除，使锅底与电热盘接触良好。当证实锅底平整、清洁，可通电试机，并检测电压比较器（LM393）7脚电平。一般来说，在电饭煲加热过程中，LM393的7脚通常应输出高电平。若为低电平，应检查温控器和温度检测电路元件（含电压比较器本身）。若测得LM393的7脚是高电平，则说明故障可能在执行或控制电路，比如，当测得LM393的7脚为高电平，但煮饭加热器不能加热，则应查单片机R0端是否输出高电平。若是，说明控制三极管VT1或继电器损坏、煮饭加热器电源引线断路。同理，若电饭煲不能保温，可先查LM393的7脚是否为高电平，若不是，说明问题可能在温度检测控制电路（含锅盖内温度传感器Rf）。若是高电平，可再测单片机R1端是否输出了高电平。若是，说明问题在执行电路。比如VT2损坏、R3开路、晶闸管VS损坏、焊下检测可很快发现故障点。这里需说明的是：在没有高压击穿的情况下，单片机是很少损坏的。但必须强调：单片机所有端子必须保持清洁干燥，否则将不能执行固有程序，致使电饭煲处于保护状态。

3. 电饭煲能按程序工作，但饭熟后蜂鸣器不响。

这个问题比较简单，因电饭煲可正常煮饭，说明单片机正常，问题可能在压电陶瓷片或控制三极管VT5损坏。在饭熟后可先查单片机R9端子是否已输出高电平，再测VT5集电极是否为低电平。若是，则可能是蜂鸣器损坏。可用电池给蜂鸣器断续通电，蜂鸣器应发声，否则说明损坏。如果VT5集电极为高电平，则不是VT5开路性损坏就是阻流圈B断路，可检查确认。

故障实例

例1 刚通电时吸水指示灯点亮，但不久转至煮饭加热指示灯点亮，但发现根本未加热。不久电源关闭（指示灯不亮），并发出报警声。

经查，电压比较器LM393的7脚电压为低电平，说明故障在温度检测电路。测LM393的6脚电压，发现电压与5脚电压几乎相等。测温度传感器RT、Rf、电阻R17、RC、电容C8均未发现故障。再测R18（100kΩ），发现阻值增大至200kΩ左右。用100kΩ电阻更换后故障排除。

例2 饭熟后不能保温。

考虑到在饭熟后蜂鸣器能发出声响，单片机应没问题。问题可能在温度传感器或保温加热电路。经查，在锅内温度低于70℃情况下，LM393的7脚能输出高电平，这说明温度传感器正常，问题可能在保温加热电路。进一步查得在LM393的7脚输出高电平的情况下，单片机R1端已输出高电平，表明故障在保温加热或控制电路。接下来对三极管VT2和晶闸管VS进行检测，发现VS已损坏。用CR6AM更换后试之，电饭煲保温功能恢复正常。

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 为了便于拷贝和存储文件，我新购了一块2.5英寸500G的移动硬盘，其标称电压5V，标称电流850mA，将硬盘通过一条USB线直接与台式电脑连接，可以正常工作，但是我的电脑USB标准插口电流容量是500mA，长期这样用会对移动硬盘造成损害吗？（云南　薛家强）

A 目前大多数2.5英寸移动硬盘都是（5V）500mA之内的电源规格，只用单根USB线与电脑连接就可正常工作。标称电流800mA左右的移动硬盘较少，通常应连接辅助电源，这类硬盘往往具有两个USB插口或另外有辅助电源插口。如果连接单根USB线硬盘能正常工作，那么也可不用辅助电源，多数情况下不会对硬盘有损害，但是不推荐这么做，因为移动硬盘在启动时或高负载下的电流较大，有可能接近或达到标称电流值，会引起电源明显波动而影响读写状态，使拷贝不良、不全，甚至无法进行拷贝。（王德沅）

Q 一台巨星757型DVD影蝶机开机后屏幕有开机画面显示，但是不能读谍，无法播放碟片。拆机检查，发现该机采用索尼KHS-313激光头组件，在开机状态下，激光头主轴电机不转，但是开机时激光头会有左、右移动的寻轨动作，不知是否主轴电机损坏？

（山西　张家强）

A 如果主轴电机没被卡阻，激光头主轴电机损坏的可能性很小，这种故障大都是主轴电机供电电压不正常所致。开机时激光头有寻轨动作，通常表明伺服（Svero）电机供电正常，因此检修时重点是主轴电机两端的电压（注意不是对地电压），正常应为1.2~1.3V，如果实测值为零或很低，就可确认故障是由主轴电机供电所致，应进一步检查供电线路（包括接插件）是否断路，电源输出是否正常等，通常很快就可找到故障根源。（王德沅）

Q 我家一台电脑的两个USB接口都坏了，打印机和扫描仪等都不能用，专业维修电脑的人说只要更换一个USB接口就可，需要150元左右，好像很贵，不知能否自己修复？（新疆　蒋建设）

A 虽然USB插口通常是与主板连接在一起的，修复起来有一定难度，但是只要仔细认真，具备一定基础的电子爱好者大都可修复此种故障，具体有两种方法：（1）由于一般电脑USB插口的两个数据端都是经过一个串联电阻（或电感）和主板内电路连接的，有些电脑还有一个接地电容。USB插口电路损坏的大都是这些电阻或电容。所以查出那个电阻或电容损坏，换上新件即可。（2）购买一个USB扩展卡，通常只需三四十元，将扩展卡插在电脑主板的PCI插槽中就可使用了。（王德沅）

Q 有一台微电脑型电饭锅，购来后半年多一直使用，连着电源插头都没拔下过，现在煮饭时总有股烧塑料的气味从那个插头部分发出，而且插头发热，想拆下插头检查，但怎么也拔不出来，不知让其这样工作下去会有危险吗？（北京　唐民）

A 如果该电源插头没有卡扣锁住，那么通常就是插头座绝缘体受热膨胀后导致粘连或卡住所致，一般是插头座质量低劣的，优质产品大都不会发生这种问题。这种插头座基本不能再使用下去，否则很可能成为安全隐患，甚至导致火灾等重大事故。维修时，应该拆开电饭煲，将插头和插座一起卸下，并且换上正牌优质的电饭锅专用插头座（包括连接线）。如果拆卸后检查插座还能使用的话，则可仅换插头。（王德沅）

Q 一台科王KW-168T3便携式移动电视（DVD）播放机不能播放碟片，拆卸检查，发现激光头光盘电机不转，但是用手按住印制电路板时，电机就转动了，经过反复检查，没能发现电路接触不良的地方，补焊相关集成电路等元器件焊点也无效，这是何故？

（广东　梁伟民等）

A 这种故障通常是安全开关触头松开所致。该安全开关控制激光头组件的电源，它是一个安装在印制板上的微型按钮开关，从反面看处于印制板的右下角，平时它的触头被顶住，处于导通状态。如果拆卸印制板或松开板子右下角的螺丝，安全开关就会弹开、关闭电源，激光头就不能工作。很多人不了解这点，往往会使检修陷入歧途，只要将电路板安装好，把螺丝拧紧就能排除故障。临时试机时，也可用手或其他物件按住开关触头。需要强调的是，拆机检查激光头必须注意眼睛的安全。（王德沅）

Q 一台电脑具有双操作系统，已经正常使用了3年多，但是近期突然发现，电脑每次开机启动后，运行到双系统菜单选择界面就停住不动了，需要按动回车键才能继续启动，而原来是会自动读秒8秒后就进入后面程序的，经过反复检查，没能找到问题所在，后来进行几次杀毒，重装相关软件和恢复原来的注册表也不能解决，不知怎样才能排除这种疑难故障？（上海　徐九福）

A 这种故障一般与软件和病毒无关，大都是键盘中存在短路的按键所致。由于存在短路按键，启动到双系统菜单选择界面时受到短路按键错误信息的影响，使自动计数停止，启动中断而停留在系统选择界面。只要找到短路的按键，排除短路，电脑启动就会恢复正常。实践表明，按键短路大多是键盘进水等引起的，只要拆卸键盘，小心取出薄膜线路，仔细擦拭干净薄膜上的水分和污垢即可。

（王德沅）

自己动手维修松下吸顶灯

◎于永泉

松下SI22W1L1型节能灯的输入功率为21W，功率因数为0.96，额定电流为0.1A，流明系数≥0.9，配用1xYH22R(FCL22)型灯管。该镇流器电路比较新颖，设计比较完善，用料比较扎实，个人认为该吸顶灯损坏后有维修的必要。由于目前该吸顶灯的资料不容易找到，因此笔者依据实物测绘了相关的电路图，见附图。

工作原理

整流滤波与抗干扰电路：C1、C3、C4、C10、LF1组成抗干扰交流滤波网络，能有效滤除电网杂波对该电路的干扰，也可以消除节能灯对电网的干扰。接通电源后，220V电压经VD1~VD4整流，得到脉动直流电压，C5~C8、VD5~VD9和R14构成高、低频滤波网络。该电路称为无源功率因数校正电路，可以提高功率因数，减小电流谐波。接通电源后，在C8正极获得约300V的直流电压，为开关电路提供正常的工作电压。VD7的负极电压约为150V，常称为中点电压。C7、C8采用串联接法，可降低电解电容的工作电压，加之这两个电容耐压都为400V，工作温度为105℃，应该说可靠性很高。

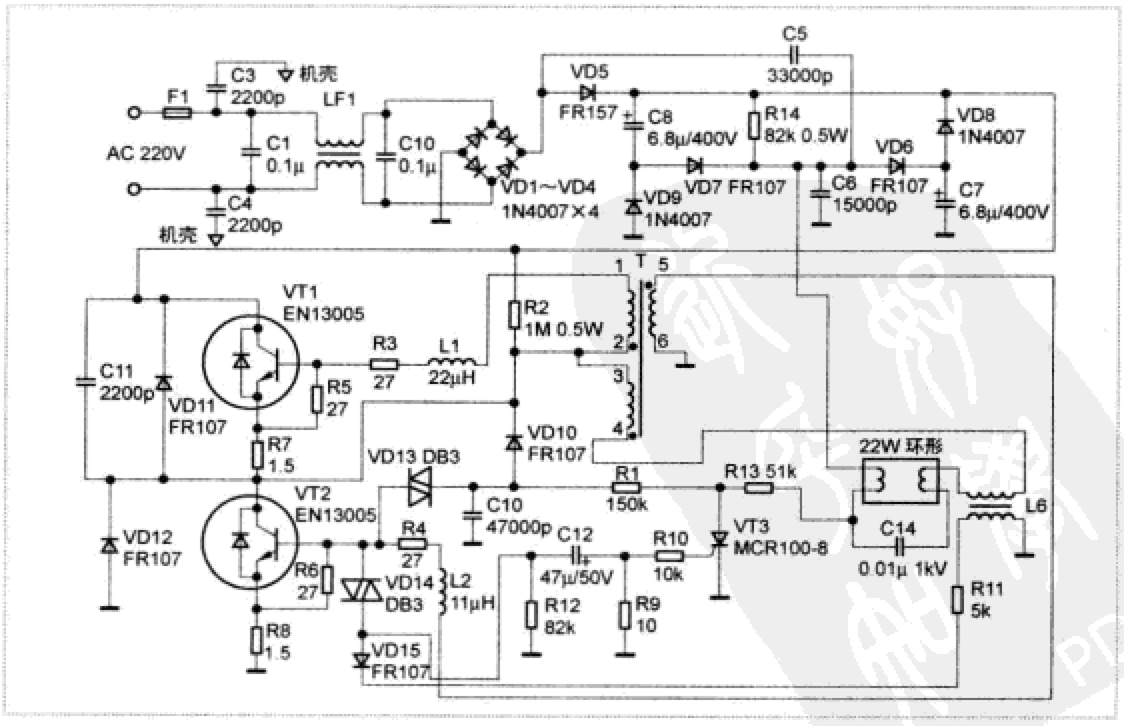
R2的接法不同于一般电子镇流器，没有直接接在VT1基极，而是串联变压器T的1-2绕组后接入的，所以R2是VT2的集电极供电电阻，而不是VT1的启动电阻，VD13为VT2的启动触发管。接通电源以后，由于R2的作用，VT1的发射极电位高于基极电位，所以VT1截止；150V的中点电压经灯丝、R13、R1给C10充电，当电压达到双向触发二极管VD13的转折电压（多为32V）时，VD13雪崩导通，VT2基极为高电位，VT2也导通，VT2基极电流经变压器T的5-6绕组泄放，所以变压器T的1-2绕组感应出电压，1脚电压高于2脚，从而使VT1发射结正偏，此时VT1导通，VT1导通后，变压器T的5-6绕组产生感应电压（6端正，5端负）使VT2由饱和导通变为截止，如此反复，两管轮流导通，形成高频振荡，在变压器T的3-4绕组输出高频电压，此电压经L6初级绕组、C14、C6等产生串联谐振，在灯管两端产生高压，点亮灯管。

保护电路：VD11、VD12作反峰压吸收电路，在VT1或VT2截止时，作反峰压的泄放通路，确保VT1和VT2不被击穿；L6和高频磁环T的3、4绕组串联，也可以对灯丝电流起抑制作用，从而保护灯管。以晶闸管VT3、双向触发二极管VD14、R9~R12、C12、VD15、L6等元件构成过压和灯丝过流保护。该保护电路也比较特殊，过压保护由VD14检测，过流保护由L6、R11、VD15检测。当灯丝电流过大时，L6的次级的电流也过大，R11两端压降过大，经VD15整流，对C12反向充电，C12正极电位升高，晶闸管VT3导通，使C10两端电压下降，VD13截止，最终使VT2、VT1先后截止。另外，VT1和VT2的发射结都并联了一只27Ω的电阻，这样可以起到分流作用，保护开关管；VT1和VT2采用了内部带阻尼二极管的EN13005（但发射结并未并联电阻）开关管，也提高了电路的可靠性。

故障实例

故障现象：在正常使用中，突然在某天开始启动不良，开关通断两三次才能点亮灯管，最后干脆无法点亮灯管。

检查方法：在路检测有关元件的电阻似乎都正常，在路检测开关管发射结电阻几乎为零，怀疑开关管不良，拆下来用500型万用表的R×1kΩ挡进行检测：b、



自己动手维修声光控LED灯

◎王绍华

不落的太阳牌声光控LED灯具有声、光双重控制和节能功能。功率为3W，但其亮度不低于15W白炽灯泡。该牌LED灯有42只高亮度发光二极管，共分两组，每组21只串联，两组并联。这些二极管均匀分布在直径6cm的圆印制板上，圆印制板平放在灯泡上半部分不透明的白塑料灯罩内，灯罩内还装有控制电路印制板，外壳钻有透光、透声孔。灯罩下方是半圆形透明塑料灯罩，整个灯外形犹如一只40W白炽灯泡。该品牌LED灯广泛应用于楼道、卫生间等公共场所。下面简要介绍其原理与常见故障的检修方法。

工作原理

该品牌LED灯没附随灯电路图，笔者根据实物画出的电路图，见附图（元件编号系笔者所注）。由图可知，市电经C1、R1限流，VD1～VD4整流得到约300V的直流电压（VD1、VD3负极相对VD2、VD4正极在灯未点亮时实测）。该电压一路由R11降压后加至两输入四与非门IC（CD4011BP）的电源端14脚。该脚相对于接地端7脚电压为6V（灯未点亮时测，该脚相对于电源地，即VD2、VD4正极约56V）。另一路经电感线圈L、R5加至单向晶闸管VT2的阳极。

当白天有光照时，光敏二极管VD12的正向电阻大幅下降（由数十千欧姆降至数十欧姆），使流经R11、R15的电流增大，即R11两端电压降增大，致使IC的14脚与7脚（即C6两端电压）不足2V，导致IC无法工作，故LED灯不能点亮。当光线较暗或夜晚来临时，光敏二极管内阻增大，C6两端电压升至6V左右，CD4011BP进入工作状态。此时四与非门之一的两输入端5、6脚分别为高、低电平，由与非门输入、输出端逻辑关系（见0出1、全1出0）可知，此时对应输出端4脚将输出高电平，故VD8截止。显然，四与非门之二的两输入端1、2脚也为高电平（相对于7脚），所以对应输出端3脚输出低电平。同时，四与非门之三的两输入端8、9脚为低电平，故对应输出端10脚为高电平。另外，四与非门之四的两输入端13、12脚为低电平，所以对应输出端11脚输出高电平。该高电平经R8加至C3，并经VD5送至PNP型三极管VT的发射极，使灯进入等待状态。当有一定强度的脚步声或其他声响出现时，经驻极体话筒MIC拾取后，将声音信号转为电信号，由C10将一定幅度的正电压耦合至IC的8、9脚。显然，此时对应输出端10脚输出低电平脉冲，即C4的左端感应出正电压，也就是两输入端5、6脚同时为高电平，故对应输出端4脚会输出低电平。此时VD8导通，将四与非门之二的两输入端1、2脚钳位为低电平，故对

---

c极正向阻抗为5.5kΩ，b、e极正向阻抗为6kΩ；b、c极和b、e极反向阻抗都为无穷大（R×10kΩ挡），红表笔接c极，黑表笔接e极，电阻为6kΩ，反向测量为无穷大（R×10kΩ挡），两只管子阻值差别很小。由于查不到资料，在此颇费周折，但检测R7、R8都正常，最终断定VT1和VT2都是正常的。测两只DB3的正反向电阻都为无穷大（R×10kΩ挡），代换无效，可见故障原因不在此。不接灯管时，测C8正极电压约为300V，接上灯管时仅250V，怀疑C7、C8不良，测容量正常，代换后电压也没改变。装上元件，接上灯管，通电瞬间测VT2基极无电压(即使用的是500型表的2.5V挡)，VT1的基极和发射极电压相等，约125V，两只开关管都截止。由于无相关电路图参考，只得测绘出电路图，通电后测R13右端电压约120V，而晶闸管阳极A仅为25V，R1左端为22V，查有的电子镇流器电路图，双向触发二极管未标型号，只标注32V，按此推论，显然该电压不足以触发VT2导通，难道是晶闸管VT3不良，拆下来检测，阳极与阴极间有约5kΩ的漏电阻，显然已经损坏了。把VT3拆下，灯管照样点亮，换上一只新管MCR100-8，该镇流器修复。修复后检测晶闸管阳极A为100V，R1左端为0，显然VD13处于导通状态。

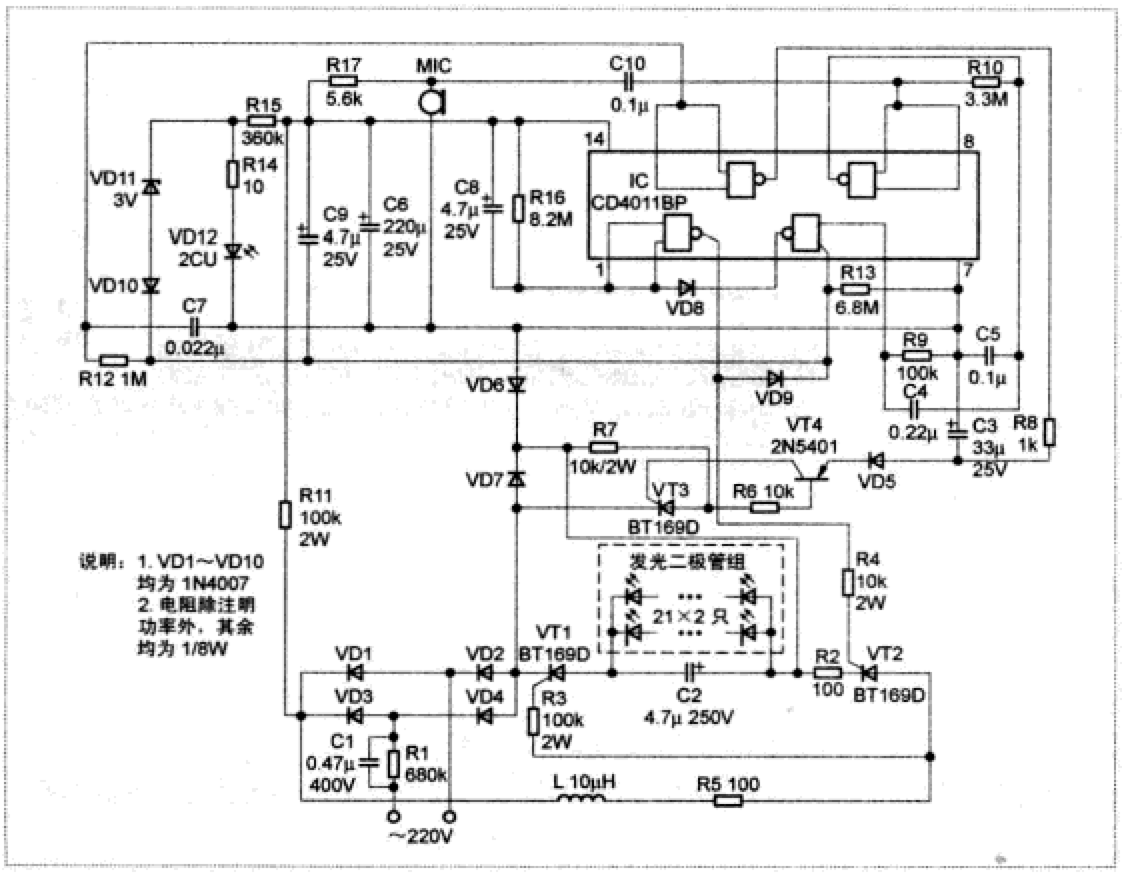
单向晶闸管VT3（MCR100-8），TO-92封装，其引脚识别是:打号的一面面向自己，自左而右依次是阴极K，控制极G，阳极A。

经验总结

节能灯的维修多采用代换法，如果发现滤波电容鼓包击穿，往往伴有整流二极管损坏，整流桥有个别二极管击穿，最好都更换，即便二极管当时没损坏，肯定受到了冲击，极易损坏。

开关管的更换一般要配对，业余条件下用万用表测电阻基本一致即可，开关管的损坏往往伴有发射极电阻开路，不要遗漏检查。开关管基极有电解电容的镇流器，应考虑电容的性能是否变差，电解电容的代换一定用105℃的，并且耐压要提高一个档次。若灯管已经点亮，尽可能少测量电压，测量电压要用高阻万用表，以免故障扩大化。

应输出端3脚输出高电平。该高电平经R4触发单向晶闸管VT2的G极，使VT2导通。于是，电流经R2对C2充电，并迅速抵达单向晶闸管VT1的阳极，由于VT1的G极经R3接有正电压，所以VT1也很快导通。于是，两组高亮度发光二极管被点亮。与此同时，从R2流出的电流还经R7加至单向晶闸管VT3的阳极，并经R6降压后使VT4的基极电平低于发射极电平0.7V以上，所以，VT4也饱和导通，电流从VT4的集电极加至VT3的G极，使VT3导通。VT3导通后，使VT3阳极电位比VD2、VD4（电源地）电位高不足1V，此时灯耗电最大，致使IC的14脚与7脚之间电压由6V降至3V左右。当声响过后，IC的8、9脚恢复低电平，故对应输出端10脚输出高电平脉冲，则C4的左端感应出负电压，即6脚变为低电平，但由于5脚仍为高电平，故对应输出端4脚会输出高电平→VD8截止→IC的1、2脚理应变成高电平，但由于C8的存在，IC的1、2脚不能立即变成高电平。只有等待C8负极板上的负电荷通过R16中和后，1、2脚才能恢复高电平。此过程在图中C8、R16给定的数据条件下，大约需1分钟（如果在1分钟内又有声响出现，则又会重复上述过程，灯继续点亮）。所以，C8、R16为灯点亮时间的调整元件。显然，时间常数越大，灯点亮时间越长。当1、2脚恢复高电平后，对应输出端3脚输出低电平，VD9截止，经R4使VT2的G极电平过零，故VT2关断，LED灯熄灭。此时IC的14、7脚回升至6V左右，灯泡重新进入等待状态。叙述至此，可能有读者对C3、VD5、VT4、VT3、R7等的设置犯嘀咕？这不就是增加整个灯的功耗吗？其实不然。由图不难看出，在灯点亮，VT3、VT4导通后，C3上端电压是上升的，这将产生两种效果。一是经R9使IC的6脚变为高电平，以保证其对应输出端4脚继续输出低电平。二是经R13、R12使IC的13、12脚为高电平，使其对应输出端11脚输出低电平，让VT4、VT3截止。在灯熄灭等待期间，由于IC的11脚输出的是高电平，故C3上端电压，即IC的7脚电压降低，经R9使IC的6脚为低电平，即保证输出端4脚维持高电平。因此，它们具有适时配合调整IC的6脚电平（高低的作用），确保LED灯稳定地点亮或熄灭。



常见故障检修

1. 灯泡不亮

这种故障常见原因有：(1)限流电阻R11开路，致使CD4011BP因失去电源而无法工作。(2)限流电阻R2开路，使输出回路开路。(3)输出电压形成电容C4击穿短路，致使发光二极管因失去工作电压而不能点亮。(4)脉冲电压传输电容C4损坏或控制电容C8击穿，致使控制电路失效，以上通过元件检测即可确认。(5)CD4011BP本身损坏所致。由于该IC是通过插座安装的，故很方便用替换法确认。

2. 灯泡常亮不熄

这种故障常见原因有：(1)CD4011BP本身损坏。比如4脚一直输出低电平，致使3脚一直输出高电平。可用替换法确认。(2)单向晶闸管VT2击穿性损坏。致使无法判断而使灯常亮，可检测确认。若损坏可用同类型单向晶闸管MCR100-6或MCR100-8替换。它们的引脚功能也完全相同。如果是白天灯常亮，很可能是光敏二极管VD12损坏或限流电阻R14开路。通过元件检测即可确认。

3. 灯泡亮度变低且不稳

这主要是C2存在不稳定漏电，致使发光二极管组两端电压降低且不稳所致。建议用耐温105℃的优质电容更换。

4. 不能声控

这主要是驻极体话筒MIC损坏或偏置电阻R17开路导致。MIC可通过替换法确认是否损坏。

5. 声控灵敏度低

该故障常见原因有：(1)MIC内部场效应三极管放大倍数变小。可通过替换法确认。(2)灯外壳透音孔被灰尘堵塞。若是，经过清洁灯壳外表，即可排除故障。(3)声音电压信号传输电容C10漏电或容量减少。可通过检测确认。

6. 灯点亮时间太短

这主要是时间常数元件C8容量变小或漏电所致。更换C8即可排除故障。

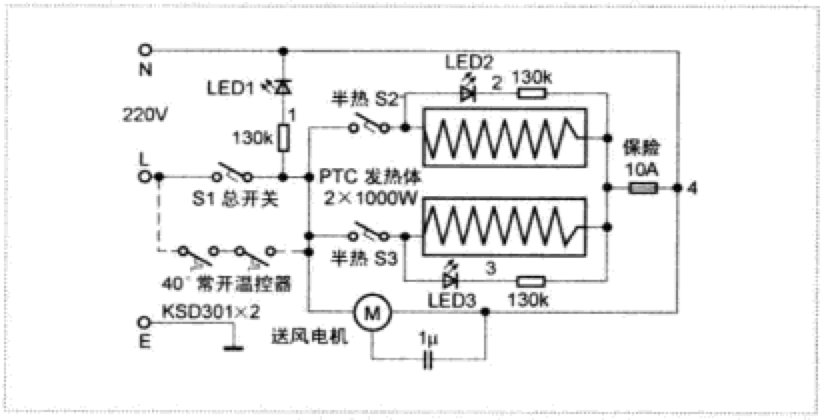
将暖风机的手动关机改为自动关机

◎陈清友

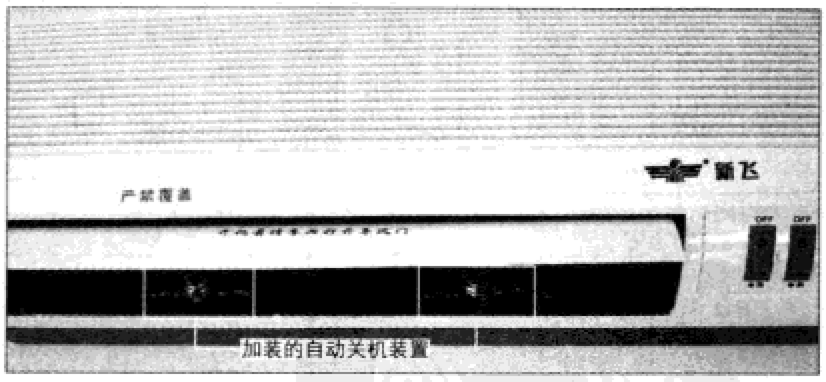
新飞牌NSB-200壁挂式暖风机（机械型）采用了先进的PTC陶瓷发热体，升温快，热效率高。但该机要求在关机时先将半热开关关闭1分钟后再将总电源关闭。如果直接关机，由于使用中的热量未能全部散发出去，会使塑料外壳烘烤变形。要想避免这种情况发生就必须有人在每次关机时进行如上操作。

为了改变这种情况，我根据温度控制的原理对该暖风机进行了改进。方法比较简单：在总电源开关S1处并接上40℃ 10A/250V常开型突跳式温度控制器。突跳式温控器的型号统称KSD，常见的有KSD301，该温控器是双金属片温控器的新型产品，主要作为各种电热产品过热保护时用，通常与热熔断器串接使用。常开型的特点：温度上升，触点接通，温度下降，触点断开。

温控器KSD301



温控部分电路图



新飞牌NSB-200壁挂式暖风机（机械型）改装部分示意图

该机温控部分电路如附图所示（暖风机不该加温度保险管，故此次未画出：实际中存在），从图中可以看出，按下S1后送风机M开始工作，S2、S3处于等待选择状态，当按下S2或S3，或同时按下S2和S3时，则PTC通电发热。在工作一段时间后，如断开S1，发热体和送风机同时断电，发热体仍有余热散发，此时机内的热散发不出去，即出现机壳烘烤变形。

我对此机改进部分如图中虚线部分所示。正常室温情况下，KSD处于常开状态，当电源S1闭合时，风扇开始转动排风，当按下S2或S3或者同时按下这两个开关时，PTC产生的热量由排风口排出。随着温度的升高，安装在排风口处的KSD，由常开变为闭合状态，它的闭合对开关S1反而起到了分流的作用，原先S1承担了2kW的功率，现在只有小部分电流流过，延长了S1开关的使用寿命。

当室温上升后，根据需要可关掉S2或S3，同时关掉S1。由于KSD是并联在S1上，因此暖风机仍然在工作，它将余温不断地从机器内排出，随着温度的不断下降，当降低至40℃以下时，KSD恢复常开状态，整个机器断电。

改进后的实际情况：通电使用后，依次将S2或S3断开，再断开S1，0.5~1分钟，整机断电。用手背在机器上方试温，只有微温，说明温控器控制良好。

操作注意事项：（1）依次断开S3、S2、S1后，如果风机同时断电，说明KSD未闭合，应立即将S1打开，1分钟后再关掉。此种情况有几种可能：一是KSD损坏；二是KSD离散性较大，不能按预定值动作 ，三是开机时间较短；四是KSD安装位置不合适。此时应该重新选择温控器或调整位置。（2）温控器采用2只KSD301串联后再并联到S1上，这是为了增加可靠性动作，可以选择40~50℃规格的，此参数不宜过高，过高时产生的余温高，对机壳不利。选择过低时，KSD经常处于高温状态，容易损坏，另外也不能使用可调式温控器。

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 我们地区前段时间进行了有线电视线路整体改造，使接收效果进一步增强，但是有一天打开电视机，发现只有图像而无伴音，反复操作遥控器“静音”、“待机”、“搜索”等按键都无效，而从电视机AV输入DVD信号，图像、伴音都正常，这是什么原因？如何排除？

（上海　计大海）

A 这种故障通常是机顶盒内部程序出错锁定所致，一般只要重启机顶盒就能排除。值得注意的是，重启机顶盒必须断开其电源再重新接通，不能只是按动遥控器或机顶盒的待机按键，具体操作是：关断机顶盒后面的电源开关或拔掉机顶盒电源插头再接通。许多人因不了解问题所在或对“重启”误解，而机顶盒大都又是处于常通电状态，不重启就不会恢复正常，所以导致有些用户、维修员感到对此束手无策，或反复检查、调整电视机或机顶盒的各种设置，其结果可想而知。（王德沅）

Q 有一个台电8GB闪盘，原来使用一直正常，最近发现它虽然能被电脑识别，但是却无法打开，点击盘符，提示“驱动器磁盘未被格式化，想现在格式化吗？”，但格式化无效，这该怎么办？（河南　刘一鹏）

A 首先退出闪盘，然后重启电脑，再将闪盘插入电脑，注意要保证两者的接触良好，如果发现闪盘或电脑USB插口上有污垢或氧化物等，则必须先清除干净。如果这样做还不行，就可用闪盘量产软件对其进行低级格式化。在网上选择合适的量产软件下载，如台电酷闪闪盘通常用MFPT软件等，然后安装软件到电脑，再按软件提示对闪盘进行低格即可。注意低格后关闭软件，再退出闪盘重新插入电脑即可。这个办法对大多数闪盘有效，但不能解决少数因内部电路不良等因素造成的故障。（王德沅）

Q 一款采用瑞芯微RK2608A主芯片的Qodee　MP4播放器不能工作，开机时只见液晶显示屏闪光一下就黑屏了，按动“M”键和导航键等都没反应，拆卸检查发现，充电电池电压3.8V，电源主要输出电压都正常，试换晶体振荡器和补焊闪存芯片也无效，不知故障究竟何在？怎么排除？（湖南　厉伟康）

A 这种故障大都是RK2608A主芯片损坏或引脚虚焊所致。检修时，可先仔细检查主芯片的焊接状况，如果发现虚焊或脱焊，应该补焊好；倘若看不出什么问题，可将引脚全部补焊一遍。这样处理后还是不行的话，就需调换主芯片了。应该注意，该机的充电电池是用胶粘剂粘合在两片闪存芯片上的，主芯片也被电池遮挡了一半，检修时要移开电池才行，拉动移位电池时要小心，千万别拉开闪存芯片等元器件，否则要修复就麻烦了。（王德沅）

Q 有一台“双爱牌”KYS-30型50W 300mm落地转叶风扇，使用中突然自动停转，拆卸检查，发现风扇叶片和电机转轴都灵活可转，没有“卡阻”现象，也没元件被烧的迹象和焦味，而且电路连接也正常，更换启动电容也无效，这是何故？是否电机烧坏？怎么解决？

（江苏　周进）

A 如果电机绕组没有较明显被烧的迹象和散发焦味，那么电机被烧坏的可能性不大，当然像绕组内部断线或接头脱焊等少数特别情况除外，必要时可用万用表测量判断。在实践中较多遇到的故障原因是电机过热保护器被烧坏。该过热保护器安装在电机上，呈黑色扁平状，外形约18mm×9mm×3mm。如果实测其断路，便可确认故障，只要换上同型号或相似特性的温度保护器就能排除故障。如果一时没有该元件，也可直接短路它，但这只能作为应急之策，以后还是应该装上。（王德沅）

Q 新购一个欧姆龙HJ-108型电子计步器，使用数天，觉得效果还不错，但是就是不知道怎么关机。找遍机身没发现电源开关或按键，难道一定要取出电池才行，还是我购买的机子有问题？（山东　苏兵）

A HJ-108 型电子计步器采用 CR2025 型 3V 纽扣电池，由于平时耗电非常小，而且有时间显示，就没有设置电源开关，就像电子手表一样。新机使用时，只要拉出电池仓的绝缘薄膜，机子就接通电源了，直至需要换电池或拆卸时为止。该机的电池使用寿命约 1 年（以 1 日走路 1 万步、使用夜光照明 3 次计）。使用夜光照明功能时的耗电较多，所以为了延长电池寿命，应该尽量减少夜光照明的次数。

（王德沅）

Q 我部接到一台日产索尼MZ-NE810型NET MD录放机,与电脑连接后,电脑不能识别MD,设备管理器中出现带有黄色问号的“未知USB设备”表示，重装驱动和软件等都无效，但是该机播放功能完全正常，这是何故？

（南京　贺伟）

A MD是英文Mini Disk的缩写，是一种音质可媲美CD机、可高速存取音频信号的微小型新式数字磁光盘录放设备。要让电脑识别MZ-NE810，首先必须在电脑上安装其随机光盘的软件，即Net MD Simple Burner（简易刻录软件）和Sonic Stage（音频处理软件）。然后打开软件，再将MD与电脑USB插口连接好，电脑就会发现新硬件，找到和识别MD（注意要先打开软件再连MD）。之后就可通过Net MD Simple Burner将CD上的音乐刻录到MD的磁光盘，或者用Sonic Stage将电脑中的音乐文件录制到MD中等。（王德沅）

宏基液晶显示器电源电路的检修

◎王忠诚

宏基V243HQ型液晶显示器电源电路是以LD7576为核心构成的，这种电源电路还用于宏基V233HZ型液晶显示器和一些笔记本电脑适配器中。为了方便大家维修，本文将对这种电源的工作过程及检修方法作介绍。

LD7576介绍

LD7576是Leadtrend公司推出的具有绿色工作模式的电源控制集成电路，包含12个型号，它们的内部结构及外围电路相同，主要区别体现在封装形式、保护电路特点及工作频率上，具体情况如附表所示。

LD7576负责产生开关脉冲（PWM脉冲），完成稳压控制及各种保护任务。LD7576内部结构如图1所示。LD7576的引脚功能如下：1脚：过载保护延迟时间设定，外接0.047～0.1μF的电容，延迟时间为55～110ms。该脚还能用于锁存保护模式，当该脚电压低于0.8V时，内部控制器将进入锁存模式。2脚：电压反馈脚，用于稳压控制。若该脚电压下降，开关管饱和时间就会缩短，输出电压会下降。若该脚电压上升，则开关管饱和时间会加长，输出电压会上升。该脚电压下降至2.35V时，进入绿色模式；超过5.6V时，过载保护。3脚：开关管电流检测端。该脚电压超过0.85V时，过流保护。4脚：接地。5脚：开关脉冲输出端，驱动开关管栅极。开关脉冲的低电平为1V，高电平为8V。6脚：供电端。启动电流为100μA，运行电流为3.5mA，启动电压为16V，过压保护点为28V，欠压保护点为10V。7脚：空脚。8脚：高压启动端，电路正常工作后，该脚功能被禁止。

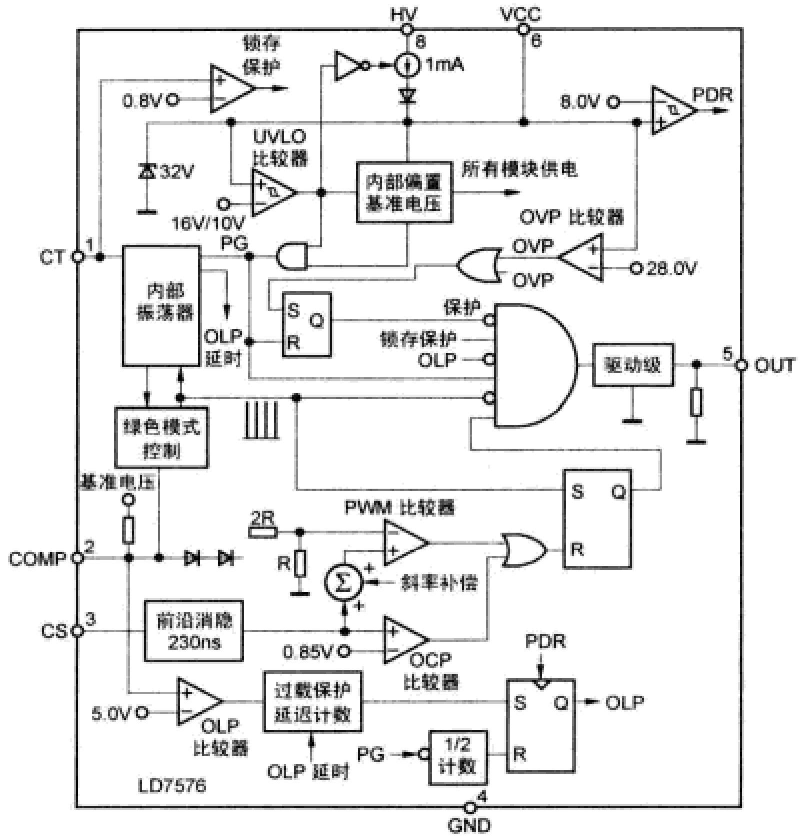


图1 LD7576内部结构

电路分析

由LD7576构成的电源电路如图2所示，图中标有“NC”的元件在实际电路中未装。

1. 启动过程

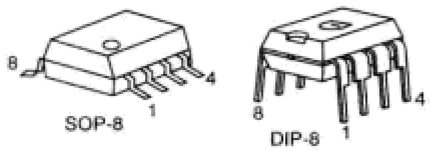
220V交流市电经保险管F901、负温度系数热敏电阻NR901、互感滤波器L901后，送至桥式整流电路BD901，经BD901整流、C905滤波，在C905上建立起300V左右的直流电压。该电压由R904、R905送至IC901（LD7576）的8脚，使内部建立起1mA电流源。该电流源对6脚外部电容（C908和C907）充电，使6脚电压上升。当6脚电压达到16V时，内部电路启动，并从5脚输出开关脉冲，使开关管VT901进入开关工作状态。电路工作后，开关变压器1～3绕组上的脉冲电压经R909限流、VD901整流，C908、C907滤波后，获得12V左右的直流电压提供给6脚，作为IC901的供电电压。

LD7576具有绿色工作模式，在待机时，由于轻载运行，内部绿色模式控制器会使振荡器的振荡频率变低（20kHz或32kHz），此时电源工作于绿色模式下，其功耗仅0.4W。按压面板上的轻触开/关键时，整机转为工作模式状态，此时振荡频率不受绿色模式控制器的控制，频率提

附表

型号	工作频率	电路特点	封装形式	型号	工作频率	电路特点	封装形式
LD7576PS	65kHz/20kHz	自动恢复	SOP-8	LD7576HPS	65kHz/20kHz	锁存	SOP-8
LD7576GS	65kHz/20kHz	自动恢复	SOP-8	LD7576HGS	65kHz/20kHz	锁存	SOP-8
LD7576PN	65kHz/20kHz	自动恢复	DIP-8	LD7576HPN	65kHz/20kHz	锁存	DIP-8
LD7576JPS	100kHz/32kHz	自动恢复	SOP-8	LD7576KPS	100kHz/32kHz	锁存	SOP-8
LD7576JGS	100kHz/32kHz	自动恢复	SOP-8	LD7576KGS	100kHz/32kHz	锁存	SOP-8
LD7576JPN	100kHz/32kHz	自动恢复	DIP-8	LD7576KPN	100kHz/32kHz	锁存	DIP-8

注：工作频率栏中的前一个频率为正常模式下的频率，后一个频率为绿色模式下的频率。



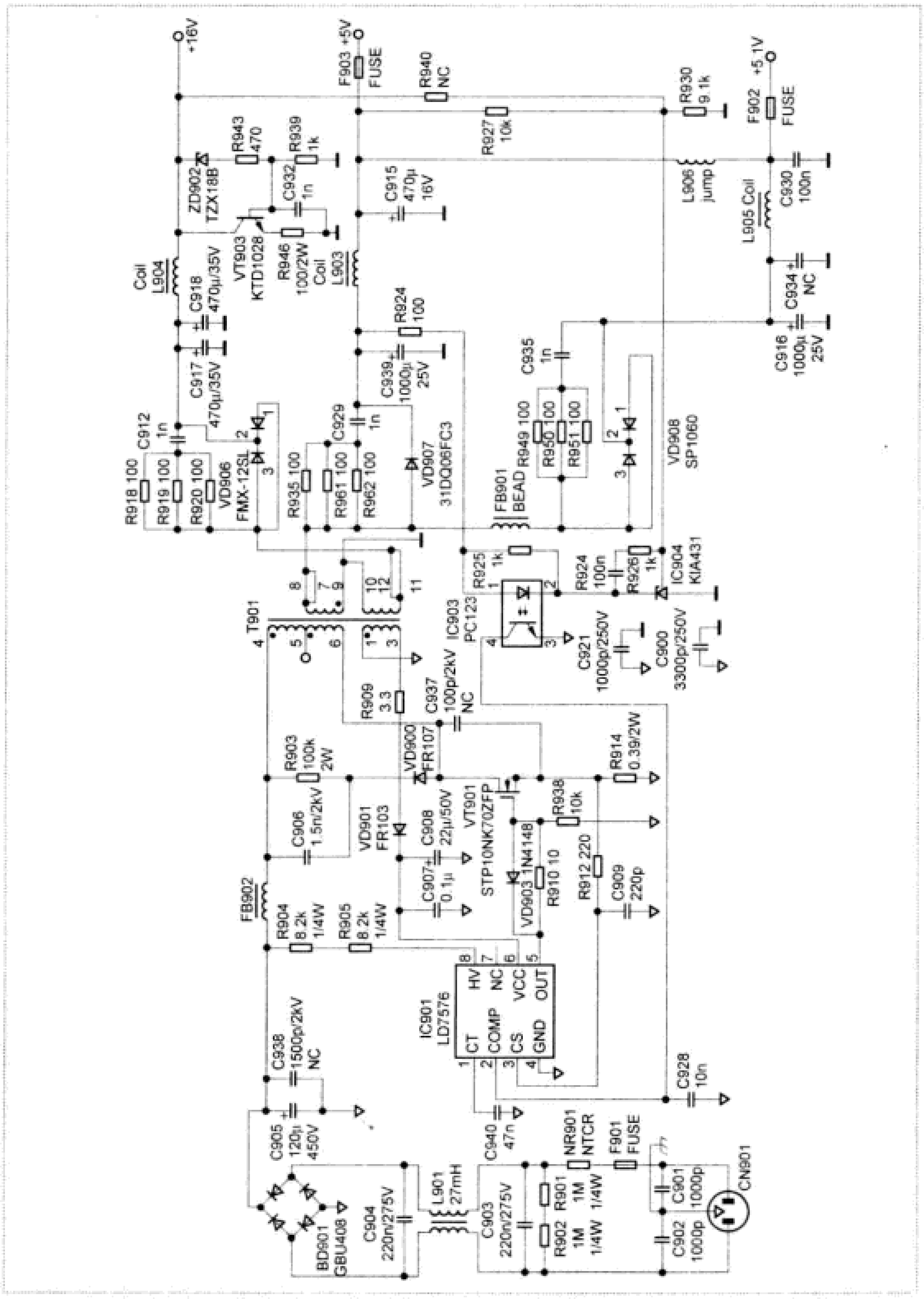


图2 电源电路

高至65kHz或100kHz。模式的转换是通过检测2脚的电压来实现的，当2脚电压下降至2.35V时，进入绿色模式。

2. 各路电压输出过程

电路工作后，开关变压器7/8－9/10绕组上的脉冲电压一方面经VD907整流、C939、L903、C915滤波后，产生+5V直流电压，给主板供电。R935//R961//R962与C929串联，再并联在VD907上，起保护VD907的作用。另一方面，脉冲电压经VD908（孪生二极管）整流，C916、L905、C930滤波后，产生+5.1V直流电压，给主板供电。R949//R950//R951与C935串联，再并联在D908上，起保护VD908的作用。

11/12－9/10绕组上的脉冲电压经VD906（孪生二极管）整流，C917、C918、L904滤波后，产生+16V的直流电压，给逆变器及主板供电。R918//R919//R920与C912串联，再并联在VD906上，起保护VD906的作用。

3. 稳压过程

该电源是通过调整开关脉冲的占空比来实现稳压控制的，稳压取样点设在+5V输出端，由R927和R930对+5V电压进行取样。当某种原因（如电网电压上升，负载变轻等）引起各路输出电压上升时，送至IC904控制脚的取样电压也上升，从而使IC904导通加强，光耦IC903中的发光二极管和光电三极管导通也增强，IC901的2脚电压下降，经内部电路调节后，其5脚输出的脉冲宽度变窄（占空比减小），开关管VT901饱和时间缩短，各路输出电压下降。当某种原因引起各路输出电压下降时，则稳压过程与上述相反。

4. 保护过程

开关管防击穿保护：开关变压器初级绕组上接有反峰吸收网络，由VD900、C906和R903组成。在开关管截止的瞬

间，初级绕组产生下正、上负的反峰电压，该电压与C905上的300V电压叠加后作用于开关管的漏—源之间，很容易击穿开关管。使用反峰吸收网络后，能使初级绕组上的反峰脉冲经反峰吸收网络而释放，从而有效地保护了开关管。

过流保护：当某种原因（如负载过重等）引起开关管VT901的电流增大时，R914上的电压必然升高，该电压经R912送至IC901的3脚，只要3脚电压达到0.85V，并持续330ns（前沿消隐时间为230ns，延迟输出时间为100ns）时，内部过流保护电路动作，使5脚提前输出低电平，VT901提前截止，从而有效抑制电流的进一步上升，使VT901不至于过流而损坏。

过载保护：当负载出现短路时，各路输出电压接近0V，此时IC904和IC903截止，IC901的2脚电压上升，只要2脚电压上升至5.6V，且持续55ms，内部电路就会执行过载保护，5脚停止脉冲输出。

过压保护：当稳压环路开路，各路输出电压大幅上升时，C908上的电压也会上升，只要该电压达到28V，IC901内部电路立即执行过压保护，5脚停止脉冲输出。

欠压保护：欠压保护是由IC901的6脚内部电路来完成的。开机后，C908被充电，若C908上的电压不能达到16V，说明市电太低，IC901不会工作，处于欠压保护状态。一旦电路工作后，6脚电压只需维持在10～16V即可，如果某种原因使得C908两端电压下降至10V以下时，IC901立即停止工作，5脚无脉冲输出，进入欠压保护状态。

过热保护：当芯片温度达到140℃时，芯片进入过热保护状态，5脚停止脉冲输出。

在此要特别提醒，对于LD7576PS、LD7576GS、LD7576PN、LD7576JPS、LD7576JGS、LD7576JPN而言，进入保护状态后，其状态不能自动锁存，当保护条件不具备时，电路就会自行解除保护状态，重新恢复工作。工作后，若保护条件又具备，则再一次进入保护状态，如此循环，使电源间歇工作，出现所谓的“打嗝”现象，此时输出电压及芯片相关引脚电压会波动。对于LD7576HPS、LD7576HGS、LD7576HPN、LD7576KPS、LD7576KGS、LD7576KPN而言，进入保护状态后，其状态自动锁存，当保护条件不具备时，电路也不会自行恢复工作。

关键检测点

该电源有一个目击检测点和3个关键检测点。

1. 目击检测点

保险管F901是目击检测点，通过观察或测量F901是否烧断，可以判断故障的性质。当F901烧断时，说明电源中有短路故障存在，短路部位一般发生在整流桥堆（BD901）、滤波电容C905、C938或开关管VT901。

2. 第一关键检测点

C905上的电压是第一关键检测点，通过检测此点电压可以判断故障部位。例如，当电源不工作时，若测得C905上的电压为0V，说明故障在交流输入电路或整流电路上；若C905上有300V电压，说明故障部位在C905之后的电路中。

3. 第二关键检测点

LD7576的6脚是第二关键检测点，当电源不工作时，通过测量该点电压可以缩小故障部位。例如，通电后，若6脚电压达不到16V，说明电路不振荡是因启动电压过低引起的，故障部位一般在8脚及6脚的外部电路或内部电路。当6脚电压大幅度摆动时，说明电路进入保护状态。

4. 第三关键检测点

LD7576的5脚是第三关键检测点。当电路不工作时，切断5脚外部电路，测量5脚脉冲波形，根据波形的有无可以判断故障是因LD7576引起的，还是因开关管不工作引起的。在空载状态下，用指针式万用表测量该脚时，若电压摆动，说明有脉冲输出；否则说明无脉冲输出。

常见故障的检修

1. 电源各路输出均为0V，保险管熔断

出现这种现象时，说明电路中有严重的短路现象。应重点检查整流桥堆BD901、开关管VT901及300V滤波电容（C905和C938）是否击穿。若这些元件正常，应查交流输入电路中的高频滤波电容C903、C904有无击穿现象。当保险管熔断时，一定要检查一下NR901有无连带损坏。

当查出开关管VT901击穿时，一定要附带查一下R914是否烧断，因为当VT901击穿时，过大的电流很容易烧断R914。

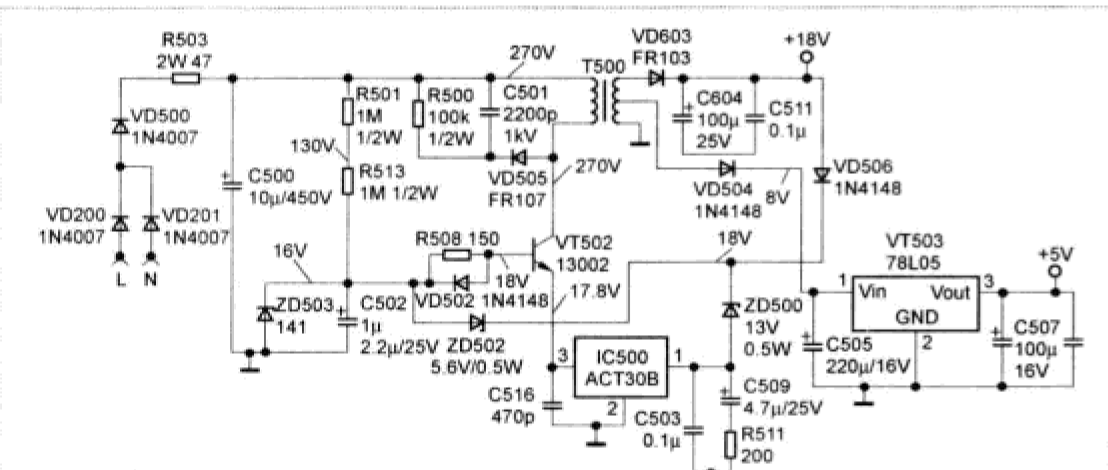
2. 电源各路无输出，但保险管未烧

先测C905上的电压，若为0V，说明交流输入电路中有断路现象。若C905上的电压正常，则查LD7576的6脚电压。若6脚电压为0V，应查R904、R905是否开路，以及6脚外部元件（C907、C908、VD901）有无击穿现象。若6脚电压低于16V，说明启动电压太低，应查6脚外部元件（C907、C908、VD901）有无漏电现象，若无漏电现象，说明LD7576损坏。若6脚电压在16V以上，说明LD7576内部电路有问题。若6脚电压波动，说明保护电路动作。检修思路如下：先让电源空载工作，若电源恢复正常，说明是过载保护，应查负载。若在空载下，电源故障依旧，说明是过压保护或欠压保护。可先查R909和VD901，因为这两个元件开路时，LD7576的6脚就得不到补给供电，会引起欠压保护。若R909和VD901正常，则应对稳压环路进行检查，在稳压环路中，易损元件是IC903和IC904。若稳压环路正常，应查VD900和C906。

自己动手检修九阳电磁炉

◎于永泉

一台九阳 JYC-21CS15 型电磁炉，通电后电磁炉不能工作。经检查，保险管未熔断，估计是电源电路有故障，在某电子杂志上找到相关的电路图。逐一检查相关元器件，发现限流电阻 R503 开路、开关管 VT502（13003）击穿、VD502（1N4148）击穿，更换这 3 个元件后，通电，指示灯仍不亮，开关电源不工作，说明还有故障未解决。怀疑 IC500（型号 ACT30BHT）不良，拆下来用 500 型万用表的 R×1kΩ 挡检测。ACT30BHT 采用 TO-92 封装，打号的一面朝向自己，自左而右依次是：1 脚为取样，2 脚为接地，3 脚为输出。黑表笔接 2 脚，红表笔接 1 脚，阻值为 5.5kΩ，反之，阻值为 40 kΩ；黑表笔接 2 脚，红表笔接 3 脚，阻值为 6 kΩ，反之，阻值为无穷大；黑表笔接 1 脚，红表笔接 3 脚，阻值为 60kΩ，反之，阻值为无穷大。开始以为 ACT30BHT 是一只三极管，但上网一查才知道是集成电路，在本地售后服务部购得该件，测得电阻与旧件的差不多。换上新件，故障现象不变，看来元件未损坏，对照图纸检查并未发现故障元件。检测开关管基极对地电压，电压为 0V，断电测检测开关管基极对地电阻，阻值很小，显然不正常，在路检查，原来 C502 两端并有一只稳压管 ZD503(类似 1N4148，管上标注 141)，而图纸上未标，试用 1N4148 代换，通电，一切正常。



九阳电磁炉电源电路图

小结：维修时不能绝对迷信资料，这样容易走弯路。该机开关管的发射极、集电极间未击穿，而ACT30BHT的输出端又是接在开关管的发射极上，所以幸免遇难，如果开关管的3个电极间都击穿了，ACT30BHT一定要换。资料中给的开关电源部分的原理图有多处错误，正确电路图如附图所示。

给鼠标换“口位”

◎刘福胜

手头积攒一些因引线折断而遭遗弃的鼠标，尤以USB接口鼠标居多，弃之有些可惜。虽然手中无多余的USB柔软导线可以利用，但PS/2（圆口）接口的优质引线却收集了不少，因此想到就此改“线”易辙，修复鼠标。

普通的USB鼠标与PS/2鼠标相比，电路原理和内部结构并无任何差别，外部引线也同为4根，唯独接口不同。因此，用PS/2插口引线替换来修复断线的USB鼠标只需操持烙铁，给鼠标动个小手术而已。图1（a）、（b）、（c）所示的是几款鼠标的内部结构图，从图1中可以看到PCB外部接线处都印有清晰的标记，明确指示出了5V、D+（DATA+）、D-（DATA-）和GND的线序。通过测量PS/2接口引脚，可获得其接口线序。图2所示的是两种接口的线序，在操作中禁忌按导线颜色取向，以免误入歧途，只要按图2所示的线序关系对号入座，被调换“口位”的鼠标便可复活。

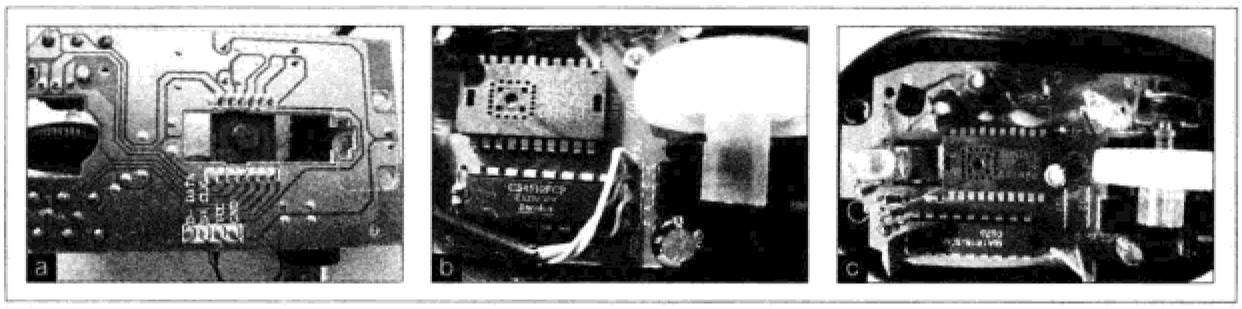


图1

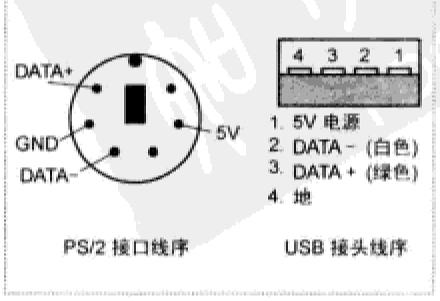


图2

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一款索尼MZ-NH袖珍型NET MD磁光盘录放机，其配套的充电器损坏，无输出电压，经测量，发现AC-ES3010K电源适配器无3V输出电压，想拆卸适配器检查，但是该适配器外壳好像是粘合安装的，拆卸很难，不知有没有其他较方便的检查故障的办法？　　（吉林　金晗）

A 这种故障大都是适配器的电源连线断路所致，如果贸然撬开适配器检修，不但费时费力，而且可能白忙一场，复原也很麻烦。其实用一个收音机就可判断适配器是否工作。将收音机靠近通电的适配器，适配器内的开关电源工作时产生的电磁辐射波会使收音机发出电磁干扰噪声，一般在530~600Hz的中波段更明显些。如没噪声，说明适配器不工作，此时就要考虑拆卸检修；反之，大都是适配器的电源连线断路所致，只要重新将断路处连通即可。需要注意的是，断点大多发生在电源线两端或经常容易折叠弯曲的地方，这些地方可重点查之。本方法同样适用于检查其他电子产品的开关电源型适配器。　　（王德沅）

Q 一台应用“凌阳”SPMP8000A方案的MP4播放器，播放时图像正常，但是外响扬声器没有声音，而耳机声音完全正常，检查扬声器和电源电压都正常，这是为什么？如何检修？　　（贵州　余智勤）

A 该播放器采用LQFP封装216引脚的PMP8000A主芯片。外响无声而耳机声音正常，可肯定故障在外响音频功放电路中。该机外响音频功放电路是由音频功放集成电路IC10（LM4890）为核心组成。主芯片10脚输出的HPOUTR音频信号通过C57和R60加到IC10的4脚（VIN-）输入端，被IC10放大后从其5、8端输出到扬声器而发出声音。IC10内置待机电路，其1脚是待机（STANDBT）端，当1脚电平为低时，IC10工作在待机模式，扬声器静音。所以检修时，除了要查功放电路，还要检测IC10的1脚电平，在功放和电源电压正常的情况下，如果实测1脚电平始终为低，那么即使IC10电路正常，扬声器也不会放声。进而就可顺藤摸瓜，找出1脚电平始终为低的原因，之后排除故障就不难了。　　（王德沅）

Q 有一台电动车充电器，主要是以集成电路UC3842为核心组成的开关电源，使用没多久，其HER157整流二极管就烧坏了。换上同样型号的二极管，发现工作时管子严重发烫，生怕其再次被烧坏，就并联了一个HER157，但是工作时还是有过热现象，后来换用过FR157，也是一样，这是何故？怎么才能使管子不发烫？　　（广东　葛俊延）

A HER157是快恢复整流二极管，其最大反向峰值电压PRV＝1000V，最大平均正向电流I_o＝1.5A。如果充电器的充电电流大于1.5A，管子工作时就会严重发热，甚至被烧坏。在原HER157上再并接一个同型号管子是可分担输出电流，降低温升的。如无效，可查两个管子是否都发烫，倘若是，说明充电器电流过大，大多是设计问题或出现故障了。如果只是其中一个发烫，表明两个管子特性差异过大，其中肯定有劣品，调换后就能解决。FR157和HER157特性相似，故代换不解决问题，可用I_o＝3A的FR307或HER307等管代换。　　（王德沅）

Q 为了配合家中的DVD和MP4放映电影，我在网上购了一块2.5英寸320G的WD移动硬盘，连接后试机发现电脑无法识别，后来到邻居和朋友处的两台电脑上试机也同样如此，而这3台电脑连接闪盘都是正常的，我怀疑硬盘已损坏或是水货，经过一系列的登记和交涉程序后，好不容易让销售商换了一块移动硬盘，但是电脑仍旧不能识别，这是何故？怎么解决？　　（江苏　张继东）

A 这种故障大多是USB连接线插头和移动硬盘的USB插口连接不良所引起的。该移动硬盘采用微小型USB插口，体积很小，有些爱好者连接时往往插入一半或大半即止，此时插头貌似已连接好，其实存在接触不良或根本就没接触，从而导致电脑不能识别。所以只要将USB插头与插口插接良好就能解决问题。当然，USB连接线的插头不良也可能造成这种故障，但多见于因嫌随机附送的USB数据电缆太短而使用另外连接线的情况，原配连接线极少有这种问题。如果排除了连接不良，那么就是移动硬盘不良了。　　（王德沅）

Q 听朋友说，苹果iPad平板电脑的屏幕亮度会影响Wi-Fi的网络传输速度，亮度越高网速越慢，亮度越低网速越快，是真的吗？是否用iPad时上网时还要随时调整亮度？还有什么因素会影响网速？　　（浙江　邵卫平）

A 从百佳泰公司的测试数据看，信号来源频段、信号来源方位和屏幕亮度等三方面对iPad的Wi-Fi接收能力有影响，其中信号来源方位的影响最为明显。当Wi-Fi信号来源在iPad的90°方位时，iPad的接收表现最差，甚至无法处理较弱信号，而当信号来源在150°方位时，iPad的信号接收表现最好。屏幕亮度的影响则不是很大，iPad的资料吞吐量在屏幕亮度最暗时会优于最亮时的表现，但在中等亮度波动情况下的影响较小。由于iPad具有可根据环境自动调整屏幕亮暗的功能，其信号接收能力很可能随时有所改变，但一般影响不明显，远不如信号来源方位的影响，所以通常没必要随时调整亮度。　　（王德沅）

瞬间停电损坏液晶电视的检修小记

◎刘福胜

台索尼KLV-S40A10液晶电视机在收看中，遇上供电系统瞬间停电，来电后电视机出现黑屏，机壳内发出“咔哒、咔哒声”继电器吸合与释放的响声。重复通电试验后，“咔哒”消失了，呈现的是电源指示灯绿灯闪1下、红灯闪7下的循环状态。

从网络搜索雷同故障描述知晓，该机市场拥有量虽不算高，但故障率却居高不下，且维修难度大、相关资料更是难觅。另外，又从淘宝网的销售信息得知，该机的电源板已累计售出70余片（见图1），说明该故障几乎都集中在电源板上，只因受维修能力和配件所困，未能查找到故障的根源，而最终选择购买新板（良品）一换了之。从该机故障特征断定，绿灯—红灯这种循环闪烁的故障也肯定发生在电源板上。通过网络查找，获取了该机PDF图纸，而将图纸“拼”打出来粘贴一起的时候，心里着实有些惊诧，仅仅一块电源板的电路图纸就足足铺满了一张写字桌，结构之复杂、器件稠密程度都超越了以往所见机型。

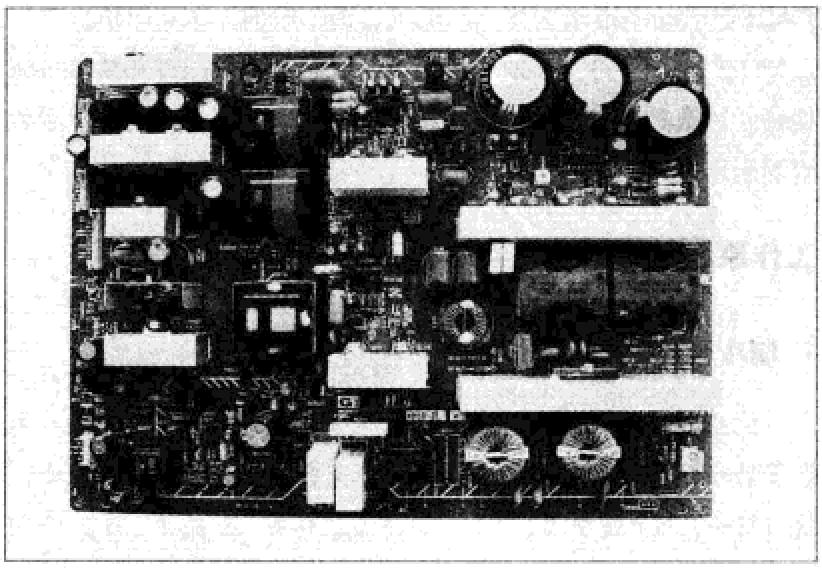


图1 电源电路板

经仔细分析电源板资料可以作如下划分：

（1）该机主动式PFC电源采用UC3854RN做功率因数校正芯片，精密取样由四路比较器BA10324AF-E2完成，UC3854RN的16脚输出控制信号，经过VT6102（2SB1121）和VT6104（2SD1621）对管放大，驱动场效应管VT6105、VT6106和VT6107工作，最终完成功率校正、相位补偿。同时又将市电整流后的脉动直流电，通过高频电感L6102、L6104和高频整流管VD6118及3只180μF/450V电解电容，升压变换成实测375V的直流高压。这种主动式PFC电源具有纹波系数小、免去待机变压器等优点。

（2）电源调制芯片IC6500（CXD9841M）、场效应管VT6500（2SK2842×4只）、VT6501和另一路IC6700、VT6700、VT6701、高频电感、整流模块共同产生两路17.5V电压及15V、10.5V、33V供电电压。

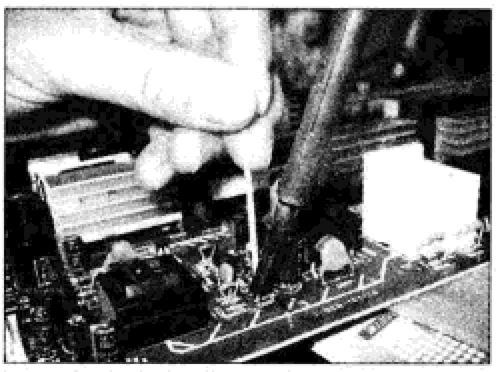


图2 用牙签辅助烙铁熔化过孔锡

（3）由整流模块VD6300、开关电源模块IC6300（STR-A6169）和开关变压器T6300等器件构成的副电源电路，用于产生系统5V电源和PFC驱动电路需要的实测为95V的直流电压。

（4）2只待机控制继电器及外围相关元件。

剖析电源电路的原理之后，开始对电源板进行检测。实测得知，除副电源输出系统的5V供电正常外，17.5V及电源板提供的其他电压均无输出。先排查各支路负载并无短路情形，遂拆下电源板，开始静态测量。参考网络上他人维修经验，仔细测量故障多发、大电流、高功耗、高发热量的两组场效应管VT6500、VT6501和VT6700、VT6701，周围的保护二极管VD6504、VD6505、保险电阻R6514（22Ω1/4W）、R6515（22Ω1/4W）、R6501（0.1Ω1/2W）以及另一支路同阻值的R6709、R6711、R6701，发现阻值无改变，外观更无烧痕。依据维修经验推理，上述各保险管、限流电阻良好，足以证明场效应管的良性工作状态，这点勿容置疑。再次查阅图纸，疑点聚集在电源板中的副电源上，测试副电源PFC供电支路，发现限流电阻R6304（10Ω1/4W）断路，高频整流管VD6903击穿。该二极管型号10ERB20-TB3，其耐压为200V、电流为1A、恢复时间为60ns，用高频整流管RU2替换后，电视机修复。

另外，电源板体形硕大，并采用双面覆铜板，过孔紧密，器件拆焊不易。可以右手拿烙铁熔化过孔焊锡，左手持木质牙签迅速插入过孔并旋转（见图2），即可轻松透开过孔，又不伤及PCB，保证检修质量。

自己动手检修饮水机

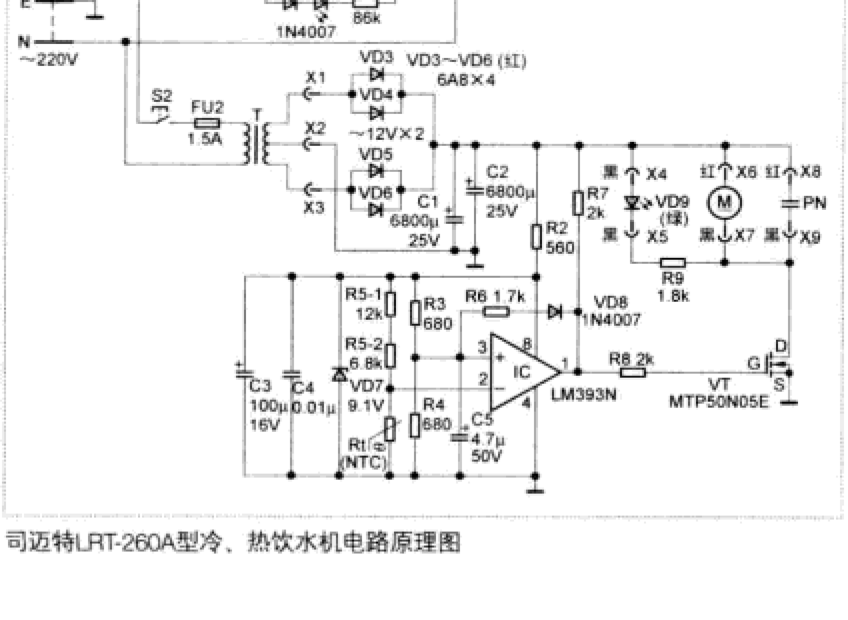
◎余俊芳

随着生活水平的提高，饮水机已成为人们家庭的生活用品，自己动手维修这类小家电用品是个乐趣，本文以杭州产司迈特LRT-260A型冷、热饮水机为例，介绍其工作原理和常见故障检修。该款是具有制冷、制热功能的新型饮水机，电路原理图如附图所示。

工作原理

1. 制冷原理

当按下制冷电源开关S2时，市电经保险管FU1、FU2进入电源变压器T的初级绕组，由电磁感应次级绕组输出双12V电压，经VD3～VD6全波整流，C1、C2滤波后得到12V直流电压，作为半导体制冷块PN、散热电扇M及相关控制电路的工作电源。若饮用的冰水温度达到12℃以上时，具有负温度系数的热敏电阻Rt阻值降低，使电压比较器LM393N的正相端3脚电压高于反相端2脚电压→1脚输出高电平→场效应控制管VT导通，半导体制冷块PN得电工作，开始制冷。与此同时，风扇电机M运转，制冷指示灯VD9（绿色）点亮。当水温降至7℃时，由于Rt阻值升高→LM393的3脚电压低于2脚电压→1脚输出低电平→VT截止→制冷块PN、散热风机M均停止工作，VD9也熄灭。冰水不再降温。当外界对冰水传热，使冰水温度升至12℃时，又会重复上述的制冷动作过程，如此循环。显然，水箱中水温将保持在7℃～12℃。



司迈特LRT-260A型冷、热饮水机电路原理图

2. 制热原理

图中S1是制热开关，ST1是加热温控器，ST2是过热保护器，EH是加热电热盘，VD2是加热指示灯。当按下制热开关S1后，ST1、ST2、EH与220V市电构成回路，此时水被EH加热，同时，加热指示灯VD2（红色）被点亮，表示正处在加热状态。当水温升至95℃时，ST1自动断开，220V电源被切断，VD2熄灭，转入保温状态。当饮水和传热致使水温下降到85℃时，ST1又会自动闭合，VD2点亮，EH通电对水再次加热。当水温再次升至95℃时，又断电。显然，水箱中水温保持在85℃～95℃。ST2是为了防止水箱中无水致使干烧而设置的，当水箱中无水时，发热管EH的表面温度将会超过100℃，内部温度则更高，当达到105℃时，ST2将自动断开。当ST2断开后，需用手按动ST2才能重新闭合，否则将不能加热。

故障维修

例1 不能制冷，但制冷指示灯VD9（绿色）能点亮。

显然，绿色指示灯能点亮，表明电源及控制系统均正常。打开背板，观察风机也运转正常。但手摸半导体制冷块PN的散热器却不热（正常时应有一定温度）。拆下半导体制冷块，用R×1挡测其正、反向电阻，均为无穷大（正常时只有几欧姆的正向电阻）。故判定制冷块损坏。到特约维修点购回半导体PN块装上后，开机，故障排除。

例2 不能制热，但制热指示灯VD2（红色）能点亮。

由于制热指示灯能点亮，表明只可能是加热器EH的接插头氧化接触不良，致使电路不通或EH内部电阻丝断路。经卸下EH检查，发现内阻已无穷大（正常时应为90Ω左右）。购回新品，更换后通电，制热功能恢复正常。

例3 不能制冷，但制冷指示灯VD9也不亮。

这说明有可能是电源问题，也有可能是控制电路问题。开盖，测量C2两端的12V直流电压，电压正常，但电压比较器LM393的1脚却未能输出高电平（正常时约10V），这说明故障点在LM393本身或它的电压取样电路。根据原理可知：要使LM393的1脚输出高电平，其3脚电压必须大于2脚电压，但实测却小于2脚电压。显然，这有可能是R3或Rt阻值变大。经测量，Rt的阻值几乎无穷大，随温度升高也不变化，这说明已经损坏。购买新的Rt（实测18kΩ），换上后通电，制冷功能恢复正常。

电脑维修DIY

硬盘引导文件出错引起的系统故障

◎张梦宁

随着电脑的普及，电脑已成为我们工作和学习的一个强有力的工具，掌握电脑维护显得尤为重要，重装系统更是必备的日常维护。如果没有特殊的要求，重装系统也不是难事，一个系统光盘（或U盘做成启动盘）就能搞定，但是，一旦用光盘安装失败，很多人一定会忧心忡忡，怀疑出了大问题。我遇见过几次这样的情况：在用光盘装系统的时候，出现能安装但最后无法进入系统、出现错误的提示。对硬盘重新分区格式化应该是可以的，但是，数据无价啊！想到苦心经营的一些设置和资料瞬间就会玉石俱焚，你可能于心不甘。解决的方法是进入DOS工具箱用fdisk /mbr命令重写硬盘的引导文件记录，有些病毒是专门攻击硬盘主引导区引导文件。

其实，这种故障是一种硬盘的软故障，也是由病毒引起的，硬盘软故障也就是说硬盘本身并没有问题，只是因为某些设置或参数被破坏而出现故障，导致不能正常使用。但是这种病毒会早于操作系统内核先行加载，导致硬盘引导区被破坏无法引导 。为了加深理解，我们可以分析一下电脑的启动和工作过程。电脑的启动绝不是按一下电源开关就OK那样简单。大家知道，神通广大的电脑运行的是有序的指令流，永不停息。我们用户和电脑打交道的时候，是借助于操作系统实现的，而操作系统这个特殊的程序是在BIOS的控制下启动的，也就是说，在操作系统闪亮登场掌控电脑之前，BIOS程序已经做出很多默默无闻的贡献，BIOS程序是联系硬件和操作系统的桥梁。早期的BIOS程序不能修改，因此也成为ROM BIOS。电脑在启动时固化程序BIOS（现在的也能刷新），要完成各种复杂的初始化和自检，然后根据设置来引导系统，如果在BIOS设置里提前把硬盘设为第一个启动项，BIOS任务就是从固定的位置把硬盘的主引导记录读入内存，寻找活动分区，由主引导记录引导操作系统。主引导区记录被破坏后，电脑自然就会无法启动系统，会出现“Error Loading Operating System”等提示信息。通过Fdisk修复硬盘主引导区，就是用DOS的 Fdisk /mbr隐藏命令，重新写入主引导程序和分区表，可在不破坏硬盘上原有数据信息的情况下，重建主引导程序和分区表，覆盖主引导区记录的代码区进行修复。使用光盘上或U盘的DOS工具箱，在提示符下输入“Fdisk /mbr”回车，OK！电脑起死回生，硬盘其实没有物理损坏，就这么简单，遇到同样故障的时候，即便是“菜鸟”也不妨一试哦。

夏普投影机电源系统的故障检修

◎霍汉明

一台夏普XV-P100型投影机通电后电源指示灯亮，但整机不工作。

检修与分析：测整流电路输出，约有300V直流电压，说明整流电路工作正常。按电源启动键，机器无任何反应。该机采用的是开关电源，测集成块IC7001，各引脚的电压基本正常。测变压器次级整流管DS7001的输出，电压为15V，测IC7002的输出，电压为12V。测试稳压块PA15V、PB10V，它们的输出均为0V。该两组电源是风扇电机的供电电源，其电源的开启受控于微处理器IC2001（IX1634CE）的36脚（CTL2）和37脚（CTL1）。当正常开启时，36、37脚均输出5V，即“H”的高电平，现在该两点却均为“L”低电平。于是进一步测（IX1634CE），发现各引脚的电位大多都低于正常值，其中VDD（42脚）无+5V供电电压。该电压是由Q2007（2SC3198）供给，其作用是将开关电源送来的12V降为5V。测量Q2007的集电极有12V输入，而发射极无5V输出，基极为0V（正常时基极电位应高于发射极0.7V）。取下该管测量，管子良好，其基极对地分别接有一个稳压管（D2021）和一个电解电容器。经测量，发现该稳压管已击穿，用一个5.6V的稳压管更换该管后，故障排除。

U盘的维修

◎张红梅

U盘因其小巧轻便、价格便宜、存储容量大等优点，满足了现代人们随时随地地交换数据和信息的要求。在广泛使用之中，我们会遇到U盘的各种软硬故障，像这种情况，一般的维修部不愿修，没有价值，可是丢弃这些U盘还有点可惜。所以，我们在此就教大家自己动手维修U盘。

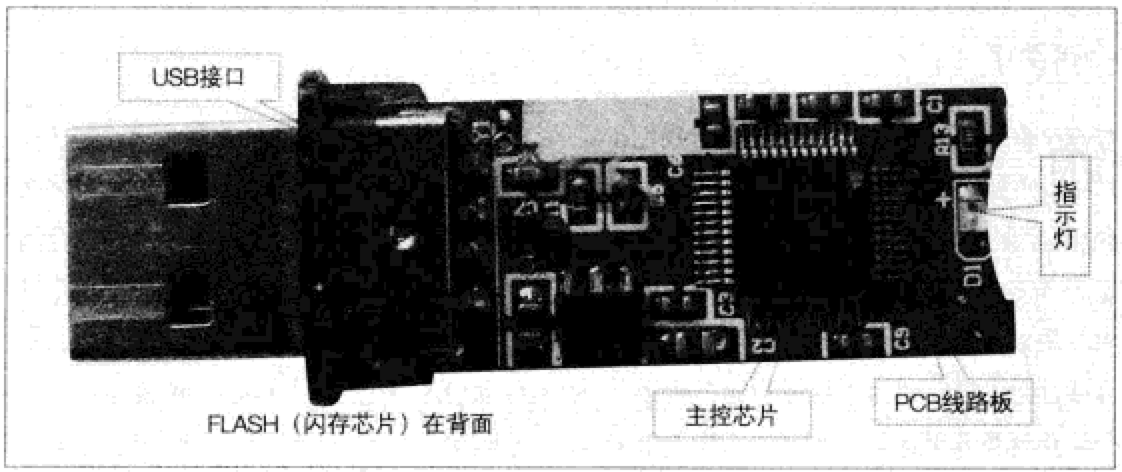


图1 U盘的内部结构

U盘的结构和原理

U盘一般由USB接口、主控芯片、FLASH（闪存）、PCB、指示灯和外壳封装等部分组成，如图1所示。

USB（通用串行总线）是运用在PC机领域的一种常用接口技术，具有即插即用的特点，U盘的USB接口与电脑连接，是负责数据输入或输出和接入工作电压。

主控芯片主要是连接FLASH（闪存）芯片和USB接口，负责各部件的协调管理和下达各项动作指令，并使电脑能自动识别U盘，它是U盘的“司令官”。

FLASH（闪存）芯片是保存数据的“仓库”，其特点是断电后数据不会丢失，同时又可以快速、反复读写，还具有低能耗和高储存的特色。一般用NAND型闪存，其参数有：页数量、页容量、总容量、I/O位宽、频率和制造工艺。

PCB就是将各部件连接在一起的平台，而指示灯一般指示U盘的工作状态。

U盘的工作原理是当其和电脑通过USB接口连接时，获取电脑提供的5V工作电压，同时USB插座的数据输入针脚为高电平，数据输出针脚为低电平，电脑接收到这一高一低的电平信号后，就向U盘发出准备好的信号。U盘内的主控芯片就调取存储器中的各项信息，通过USB接口向电脑发送数据，电脑接收后会提示发现新硬件，进入U盘后，用户即可用电脑交换信息。

维修实例

例1 某一品牌的U盘插入电脑后，没有任何反应仅指示灯常亮。

先拆下U盘的外壳，仔细检查U盘内的电阻、电容、稳压器、晶体振荡器和主控芯片等外观，看是否有虚焊、漏液和破损。如果没有异常，初步判定可能是时钟电路的12MHz晶体振荡器损坏，但一般晶体振荡器的好坏是很难测量的，因此判断其好坏，最常用、最简单的方法就是替换一个同型号的晶体振荡器。焊下旧的晶体振荡器，把新的晶体振荡器通过导线连接到PCB上晶体振荡器的焊点上，如图2所示。把U盘插入电脑后，其指示灯不断闪烁，不久电脑提示已安装完驱动，可以正常使用了。打开U盘，里面的数据依旧完好如初。

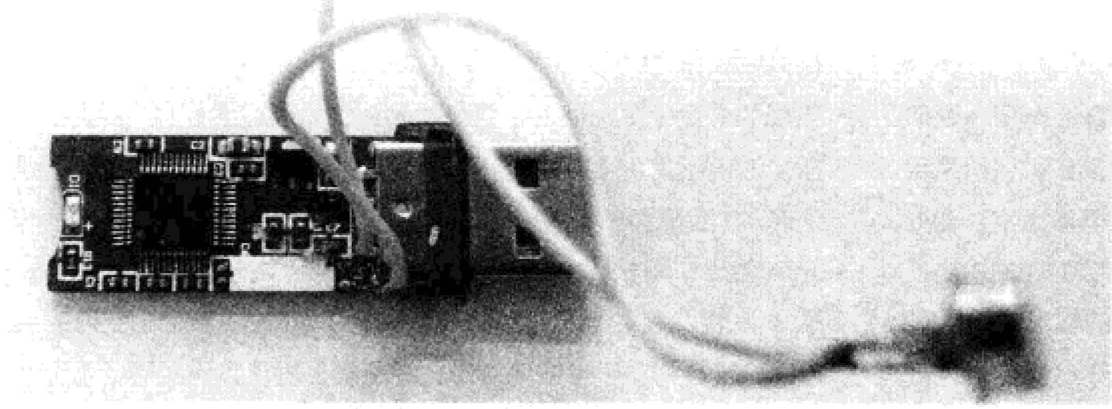


图2 把新晶体振荡器连接到PCB上

例2 U盘插入电脑后，电脑提示“无法识别的USB设备”。

电脑有反应，说明U盘的供电电路工作正常，需要查找其他电路。先检查接口电路，用表测量接口电路中数据线的对地电阻，正常时阻值在100Ω以上，如果不是，可能是接口电路中的电阻或电感等元器件损坏，更换损坏元器件即可。如果阻值正常，再检查时钟电路，用排除法更换晶体振荡器。如果上述检查都正常，就可认为是主控芯片损坏。

在U盘的实际维修过程中，我们可以通过对供电电路、时钟电路和指示灯电路三方面的检测去分析和判断故障所在。

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台有20个发光头的兔形LED台灯，发光管全部不亮，但是充电时指示灯正常点亮。检查电源开关良好，充电电池两端电压为4.2V，两组发光管（每组10个LED）两端的电压都是3.8V，怀疑有LED不良，但是拆下几个发光管检查也看不出有什么问题，难道是电压不对？至此觉得山穷水尽，无法再查下去了，不知故障究竟何在？用万用表R×1kΩ挡测量发光管正、反向电阻应该是多少？

（上海　万松）

A 这种故障非常迷惑人，通常多认为20个发光管不可能都损坏，但是事实恰恰就是都损坏了，如果谁没想到这点，就会感到一筹莫展。因为这种台灯将多个高亮度白光发光管并联使用，而且具有外接电源插口，经常有人将数码设备的6~12V电源适配器误插入台灯，结果造成全部（或大部分）发光管被烧坏，所以要将损坏的发光管全部更换才行。用普通万用表R×1k挡测量发光管正、反向电阻应该都是无穷大，如果测量10个并联的发光管，反向电阻应是无穷大，正向电阻为300~1000kΩ即是正常的。（王德沅）

Q 有一台直冷式双门双温电冰箱，最近时而发生不启动故障，有时停机后10多个小时也不会自动启动，冷冻箱内的食物都融化了，但是只要用手轻轻敲击几次（机械）温控器，冰箱就会启动，检查温控器和开关等连接都正常，没看到接触不良的现象，曾经想换个温控器试试，无奈购不到配件，不知是什么原因造成这种故障？怎么排除？

（浙江　周文）

A 这种故障主要还是温控器造成的。这种温控器工作原理是，当电冰箱温度上升至设定值时，感温包、毛细管和波纹管中的感温剂气体膨胀，使波纹管伸长，通过弹簧把开关触点接通，压缩机运转。当温度降至设定值时，感温包气体收缩，波纹管、弹簧收缩，将开关断开，压缩机停机。如果温控器内的开关触点被烧、产生明显毛刺和氧化物等，就可能造成接触不良，从而出现所述故障，所以，只要清除温控器触点的毛刺和氧化物，就能排除故障。注意拆卸温控器时务必小心仔细，不要拆乱了。如果这样做后故障依旧，那就是波纹管的问题了，此时最好是调换新件。（王德沅）

Q 检修一支从国外带来的电子体温计，故障是液晶显示器无显示，调换电池无效，也没发现明显的接触不良的现象，怀疑电源和集成电路之间的连接断路，不知E0C6251芯片的主要功能和结构如何？电源引脚是哪两端？正常工作电压是多少？（河北　郑国建）

A E0C6251是 Epson 公司生产的温度测试专用4位单片机，内含4位CPU核心、ROM、RAM、输入/输出接口、LCD驱动器、定时器和R/F（电阻/频率）转换器等。它采用QFP-60（QFP-64）带引脚或“裸片”封装，体积极小。对常用的QFP-60封装芯片，其引脚TH（46脚）与CS（44脚）之间接温度传感器，通常采用珠状NTC热敏电阻。OSC1、OSC2（49、50脚）间接32.768kHz晶体振荡器，V_{DD}（48）和V_{SS}（51）为电源正、负极引脚，正常工作电压1.5V。完全无显示故障大多是电源不正常所致，如果实测芯片电源电压正常，则可查晶体振荡器和两个0.1μF的升压电容是否正常。

（王德沅）

Q 一款采用一节NH-14WM(A)口香糖电池供电的索尼MZ-NH10型磁光盘录放机，充电时MD指示灯不亮(正常显示红色)，测量电源适配器的输出为3.5V，但是充电器底座空载输出0.9V，不知输出是否正常？如何检修?

（广东　邓伟文）

A MZ-NH10机的配套充电器由两大部分组成,一是电源适配器,220V输入，输出为3~3.6V，送到充电器底座，二是充电器底座电路，输出电压供口香糖电池进行充电。NH-14WM(A)电池系Ni-MH电池（NICKEL-METAL HYDRIDE BATTERY），规格是1.2V 1350mh(MIN)。你所述充电器的两组输出都正常,故障大多是接插件接触不良所致。由于MD和充电器两者的接插件都很细小,而且充电器的两接触簧片在一个微型的U形塑料支架上,容易变形或积垢（曾见过簧片被小孩用口香糖粘住的情况）等而产生接触不良，检修时，可仔细检查接插件，清除污垢或异物，如果簧片变形，用镊子校正就可。

（王德沅）

Q 有一台兼具红外线和臭氧消毒功能的家用消毒柜，红外消毒功能正常，但臭氧消毒功能失效。检查发现，臭氧发生器的控制开关和继电器等都正常，220V市电整流后的直流工作电压也正常，这是什么原因？是臭氧管损坏吗？（福建　孙睿智）

A 通常家用消毒柜的臭氧（O3）发生器主要是由臭氧管、多谐振荡器、升压变压器和电源电路等组成的，基本原理是，由高压变换电路产生十到几十kHz、1.8~3.6kV的高频高压脉冲加至臭氧管两端，使其产生臭氧气体。在整流电压、控制开关和继电器等都正常的情况下，这种故障主要是高压电路或臭氧管损坏所致，可先查臭氧管，只要管子没有破裂、漏气或明显老化等，通常损坏的可能不大，随后可查高压电路，其中以高压变压器断线、虚焊、脱焊或晶闸管（仅某些机型采用）损坏为多见。（王德沅）

自己动手检修自动温控淋浴器

◎王绍华

乐林牌KXD50－2型自动温控淋浴器具有自动温控、水箱水用完后自动补水、人工补水、防干烧报警、音响提示等功能，且性价比较高，是许多家庭常用的淋浴设备。笔者根据实物绘出了该淋浴器电路原理图（见附图，元件编号系笔者所注），下面简要介绍该淋浴器的工作原理与故障检修方法。

工作原理

合上电源开关后，220V市电经变压器T降压、VD1、VD2整流、C1滤波后获得约14V直流电压。为继电器J1和进水电磁阀继电器J2及电压比较器IC2、控制三极管VT2、VT3等提供电源。同时14V电压还经R15、VD7（红色发光二极管，兼作电源指示）限流、VD4稳压后获得8V电压，为四运放IC1（LM324）的4脚提供电源。另外，在接通电源后，进水电磁阀（其进水口事先已与自来水管口接好）工作线圈经继电器J2的常闭触头与市电接通，于是电磁阀进水口打开给水箱注水。当水箱水几乎加满时，置于水箱中的杆状水位传感器（湿敏电阻）阻值减小许多→IC2(TL343)正相输入端（1脚）电位正好高于反相输入端（3脚）电位→输出端（4脚）输出高电平→输出控制三极管VT3饱和导通→继电器J2得电动作→常闭触头断开→进水电磁阀关闭→注水结束。

在水箱加水过程中，当水位超过了加热器（加热器接近水箱底部）上方的防干烧探头时，8V电压会通过防干烧探头间的水电阻加到四运放第三单元的反相输入端（9脚），使9脚电位高于正相输入端（10脚）电位，故输出端（8脚）输出低电平，使隔离二极管VD6截止，为加热器加热提供前提条件。此时可将水温控制电位器RP调到自己认为合适的水温位置（刻度盘处有大致的水温标度），如果实际水温低于设置水温时，IC1的第一单元反相输入端（2脚）电位将高于正相输入端（3脚）电位→输出端（1脚）输出低电平→IC1的第二单元反相输入端（6脚）也为低电平，低于正相输入端（5脚）电平→输出端（7脚）输出高电平→经R12→控制管VT2（NPN型）导通→继电器J1得电导通→加热器对水加热。与此同时，VT2发射极串接的绿色加热指示灯VD8点亮，表示正在加热。随着水温的上升，置于水箱中的温度传感器RT1（负温度系数热敏电阻）阻值减小→IC1正相输入端（3脚）电位上升，当水温达到设定值附近时，3脚电位将高于反相输入端（2脚）电位→输出端（1脚）由低电平变为高电平→即IC1的6脚也为高电平，高于正相输入端（5脚）电平→输出端（7脚）输出低电平→VT2截止→继电器J1失电→常开触头复位→加热器停止加热。与此同时，IC1的1脚输出的高电平还经R7加至IC1的第四单元的正相输入端（12脚），使由IC1的第四单元和外围元件R8～R10、R11、C5等构成的振荡器启振，经蜂鸣器发声，提示用户开始淋浴。

随着淋浴的进行，水箱中的水位不断下降，水位传感器RT2的阻值也不断上升。当水位下降至加热器快露出水面时，RT2的阻值会增大至大于R16与防干烧探头间水电阻并联后的总电阻阻值。于是，IC2反相输入端（3脚）电位大于正相输入端（1脚）电位→输出端（4脚）输出低电平→VT3截止→继电器J2失电→常闭触头复位→进水电磁阀打开注水。然后重复上述过程。实际上该品牌淋浴器所储存水量是足够一人淋浴的，一般不会出现淋浴中途水用完而需重新注水，等待加热后再继续淋浴的现象。若家中还有人要继续淋浴，可按一下自复位按键开关S2（补水开关，按一下后即松手），往水箱中补水。其原理是：当按下S2时8V电源会通过S2给大容量电解电容C6充电，由于C6接在IC2反相输入端（3脚），所以3脚会在较长一段时间内电位大于正相输入端（1脚）电位→输出端（4脚）输出低电平→VT3截止→继电器J2失电→常闭触头复位→进水电磁阀打开补水→当水箱水位快满时→RT2阻值会减小到使正相输入端（1脚）电位大于反相输入端（3脚）电位→输出端（4脚）输出高电平→VT3导通→继电器J2得电→常闭触头断开→进水电磁阀关闭。如果水温低于设定温度，加热器会工作，为下一个人淋浴作准备。若一人淋浴完后没人再淋浴，等水箱注满水后（为避免加水过程中加热器加热，可把水温调节旋钮反时针旋到底）把电源开关S1关掉，或不必往水箱中补水就把S1关掉。

顺便指出，IC1的第三单元与VD6、

R6、C3、C4、VT1等元件构成防干烧电路（比如水位传感器损坏）。当水位低于防干烧探头时，IC1的反相输入端（9脚）通过R14接地，正相输入端（10脚）电位高于9脚电位→输出端（8脚）输出高电平→VD6导通→高电平经R6加至控制管VT1基极→VT1导通→IC1的第一单元反相输入端（2脚）为低电平→输出端1脚输出高电平→IC1第二单元6脚为高电平→输出端（7脚）输出低电平→VT2截止→继电器J1失电→常开触头复位→加热器断电，停止加热。同时IC1的1脚输出的高电平还经R7加至IC1第四单元的正相输入端（12脚），使振荡器启振，蜂鸣器发声，提示用户检修。由于这时喷头没水流出，故不是淋浴提示，而是防干烧报警。

故障检修

下面介绍常见故障的检修方法。

1. 不能加热，电源指示灯VD7不亮。

这表明电源部分有故障。可先查滤波电容C1两端14V电压是否正常。若没有，则应查电源输入端保险管BX、电源变压器初级绕组是否开路、滤波电容C1本身是否击穿。若C1两端14V 电压正常，就应检查限流电阻R15、发光二极管VD7、稳压管VD4和滤波电容C2是否击穿。

2. 不能加热，红色电源指示灯VD7点亮，但绿色加热指示灯VD8不能点亮。

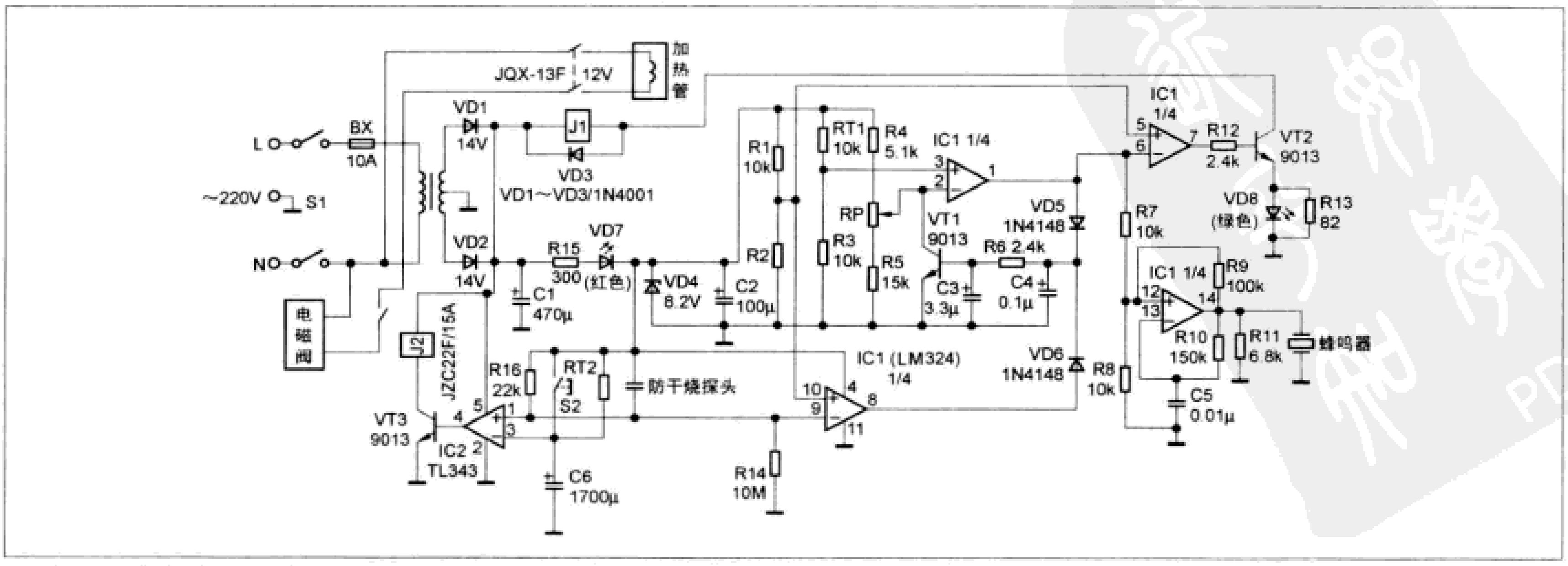
这说明检测或执行电路有故障。应测控制管VT2集电极是否为低电平。若是，说明继电器J1或加热管本身可能损坏（因继电器J1工作线圈开路也会导致VT2集电极为低电平和VD8不亮）。若是高电平，再测IC1的7脚是否为高电平。若是的话，则是VT2或R12出现开路性损坏。若IC1的7脚为低电平，有可能是IC1第二单元损坏或R1开路，使IC1的5脚也是低电平，可检测确认IC1。如果确认IC1的5脚是高电平，应再测IC1的1脚（相当于IC1的6脚）是否为高电平。若是，可进一步检查3脚电平。若大于2脚电平，但2脚电平在2V以上，则是IC1第一单元损坏无疑（因温度传感器RT1阻值减小可能性很小）。若IC1的3脚为低电平，极有可能是温度传感器RT1损坏。如果查得IC1的3脚是高电平，但还是低于2脚电平，则有可能是分压电阻R5或RT1阻值增大（其阻值图中有注），检查即可确认。假定在上述检查中，发现IC1的2脚为低电平，则可能是温度控制电位器RP滑动触头开路或防干烧电路出现故障。如果测得RP是好的，可直接测IC1第三单元9脚电平，通常应高于10脚电平。若低于10脚电平，极有可能是防干烧探头被厚厚的水垢所包裹致使水电阻增大许多，从而使9脚电平低于10脚电平，导致防干烧电路误动作。若测得9脚电平高于10脚电平，应再测8脚电平，若为高电平，则是IC1第三单元损坏无疑。若是低电平，极有可能是VT1的c、e极击穿所致。

3. 不能加热，但红色电源指示灯和绿色加热指示灯均能点亮。

这种情况极有可能是加热继电器J1常开触点烧蚀或加热器本身损坏。通过检测即可确认。

4. 水箱排气孔溢水。

这表明水位控制或补水电路出现故障。首先应查IC2输出端（4脚）是否为高电平，若是低电平，应再查正相输入端（1脚）电平。在水箱水位达到9/10位置时，1脚电平应大于反相输入端（3脚）电平，这样才能使输出端（4脚）为高电平。如果1脚电平小于3脚电平，就要检查水位传感器是否开路或阻值变大或电位维持电容C6是否击穿或漏电。若查得IC2的1脚电平大于3脚电平，但4脚为低电平，则是IC2供电电路有故障或IC2本身损坏。若IC2的4脚是高电平，就应查控制三极管VT3的c极是否为低电平。若为高电



乐林牌自动温控淋浴器电路原理图

平，则是继电器J2或控制三极管VT3出现开路性故障，可检查确认。

5. 水箱不能补水。

水箱不能补水分三种情况：一是水箱中水基本用完能自动补水（这是由水位传感器和分压电阻R16的阻值共同决定的）而水箱中水未用完按补水开关S2却不能补水。这种情况通常是补水开关S2接触不好或电位维持电容C6有问题。二是按补水开关能补水，但水箱中水用完后却不能自动补水。这通常是分压电阻R16或水位传感器RT2阻值发生变化。特别要注意水位传感器上面是否有水垢覆盖，如果有要及时除去。三是无论是水用完或未用完都不能自动或人工补水。这种情况就应检查它们的公共部分（进水电磁阀、水阀控制继电器J2、控制三极管VT3和电压比较器IC2及它周边元件）。如果VT3击穿的话，就会使J2始终处于吸合状态，常闭触头断开。如果控制继电器J2常闭触头烧蚀不通，则进水电磁阀就不能得电动作了。如果进水电磁阀进水拦污网被杂物堵塞，就不能进水。还有，若IC2内部击穿，使4脚始终为高电平→VT3导通→继电器吸合→进水阀门关闭，也不能进水。因而出现这种故障时，应从IC2的4脚开始逐级向后检查，可迅速查出故障点。

6. 水温达到或超过设定值，加热器不能断电或水温未达到设定值，加热器就断电。

这种故障有三种情况：一是由温度传感器RT1、电阻R3、R4、R5和水温设定调节电位器RP组成的分压电路发生故障，通常是它们的阻值发生变化。比如RT1外面被水垢覆盖，RP内部的活动触头与滑轨接触不良或它们的焊点出现裂纹。二是IC1本身损坏，致使IC1的7脚始终输出高电平。三是IC1外围元件损坏，比如VT2击穿，就会导致加热器一直加热。可对上述元件分别检测，即可确定故障点。

7. 报警器不能报警。

这种故障有三种表现：一是水温达到（或超过）设定值，报警器不能报警，但水箱中水用完后（比如外面自来水停水，而不能补水）能报警。这说明报警器振荡、发声电路（即IC1第四单元及周围元件）正常，故障通常在RT1、R3、R4、R5和水温设定调节电位器RP组成的分压电路发生故障。二是水温达到（或超过）设定值，报警器能报警，但水箱中水用完后（比如外面自来水停水）却不能报警。这通常是防干烧电路发生故障。比如R14开路、防干烧探头被导体短接或IC1第三单元损坏，使IC1的8脚始终输出低电平。或R6或VT1开路，均会使报警器不能报警。三是无论水温达到（或超过）设定值或水箱中水用完，报警器均不能报警。这通常是报警器振荡、发声电路发生故障。应对IC1第四单元及周围元件（含蜂鸣器）进行检测。由于这部分电路元件不多，故障点一般不难确定。

检修实例

例1 **通电后红色电源指示灯不能点亮。**

经查，整流后的14V电压正常，但8.2V稳压管两端无电压。查8.2V稳压管正常，最后查出系限流保险电阻R15（330Ω）开路所致。用1W（原为1/2W）同阻值电阻更换后故障排除。

例2 **通电后不能加热，但绿色加热指示灯能点亮。**

绿色加热指示灯能点亮，说明控制三极管 VT2已导通。故障可能在继电器J1或发热器本身。经查，通往发热器的电源线有220V电压，显然J1有问题，最后查出是继电器触点有明显烧蚀现象，经更换后试机，故障排除。

例3 **通电后加热缓慢。**

淋浴器能加热，说明加热器已通电。加热缓慢可能是发热器电阻丝阻值变大或市电电压太低。经查，加至发热器两端电压正常。故怀疑加热器有问题。经测电阻值小于10Ω（属正常），当拆下发热管发现上面已布满厚厚一层坚硬的白色水垢，清除水垢后试电，加热恢复正常。

例4 **水温超过设定值，报警器也不能报警。**

由工作原理可知，当水温达到设定值后，IC1的3脚电平应高于2脚电平。实测3脚只有3V，而2脚有6V之多，这说明IC1的2脚中点分压电路有问题。经认真检查R1～R5无问题，当将水温传感器取出，发现它上面也被一层厚厚的白色水垢所覆盖。经清除干净后试电，故障消失。因笔者地区自来水是采取地下水，矿物质多，属硬水，故容易形成本故障。

例5 **水箱的排气孔溢水。**

这说明水位检测电路有故障。经查，IC2在水上满后1脚电位低于3脚电位（正常时1脚电位应高于3脚电位），先查电位保持电容C6，正常。再查水位传感器RT2，发现长杆上也包裹着一层白色水垢，经清洗干净后试机，故障不再出现。

例6 **水箱水用完后不能自动补水。**

经查IC2的4脚输出的是低电平，说明继电器J2动触头并未吸合，进水阀应得电将阀门打开，实测进水阀工作线圈输入电压正常。显然是进水阀有问题。拆下进水阀观察，发现进水口拦污网几乎被铁锈渣全部堵死（本地区自来水晚上11时停水，早晨5时来水，停水后水管极易氧化生锈，早晨来水后又会将这些铁锈渣推着前进，从而将进水拦污网堵塞），经清除附着在拦污网上的铁锈渣后试机，故障排除。

电子书“屏损”巧更换

◎刘福胜

GM（歌美）2000电子书采用7英寸液晶屏，触摸操控，该电子书手感厚重、做工细腻大方，具有HDMI和HDTV输出接口，便于接驳大屏幕显示设备做扩展使用。然而，仅使用半年，就因意外摔落至液晶屏破碎，若将惨遭“破相”（见图1）的电子书弃之，实在可惜，遂决定购买新屏自行更换。

通过“淘宝网”联系商家获知，GM2000电子书显示屏分为“外屏”和“内屏”（总价格260元），两屏的尺寸均为16.4mm×10mm（见图2）。外屏是触摸屏（支持手写录入、触摸操作），厚度为1mm；内屏为液晶显示屏，厚度为3.4mm。液晶显示屏的四边和背部全部由薄金属盒包裹，以达到抗震防摔的保护目的。两个独立的液晶屏需要我们人工操作，严丝合缝地扣合到一起。在操作时首先应保证操作环境清洁，然后分别除去触摸屏背面保护膜及显示屏四周框面上用于粘合触摸屏的双面胶防护纸，再拉起其左下角黄色拉头，掀去液晶屏保护膜。经确认两屏上、下位置（还要保证触摸屏正面向上），确保两屏对正后，轻轻沿四周按压使其合二为一（见图3）。切忌用手去触碰已撕掉防护薄膜的显示屏，以免留下脏污痕迹，粘合时要快速，防止落入灰尘，最后，掀去触摸屏正面的薄膜。

拆卸损坏的电子屏：关掉电子书底部电源总开关，除去后盖下方两颗螺钉，用扁平起子沿盖板缝隙插入轻撬，并顺延裂缝游走，就会释放壳体四周所有的卡扣，打开后盖（见图4）。在红色PCB长条的一侧，有一宽一窄两个软线接口，分别连接液晶显示屏和触摸屏，推开压舌，即可夹出上述这两路薄膜排线。旋开固定PCB的4颗端角的螺钉，并向按键开关一侧掀起电路板，以免扯断按键连接软线和扬声器线，显示屏完全呈现在视线当中（见图5），将其从下方一侧抽取出来并换上新屏，再反过程复原各拆开的部位。

温馨提示：液晶屏软线是压在PCB的下面，再向上折返插入电路接口之中，因新屏线稍硬的缘故，插入角度要找准对正，可以说，这个环节算是更换液晶屏幕整个过程中唯一稍微费事的地方。当然，只要轻柔、仔细操作，“破相”的电子书，定会在你的手里起死回升（见图6）。

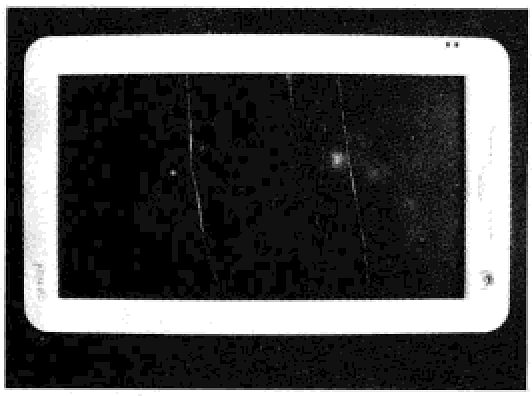


图1 破相的液晶屏

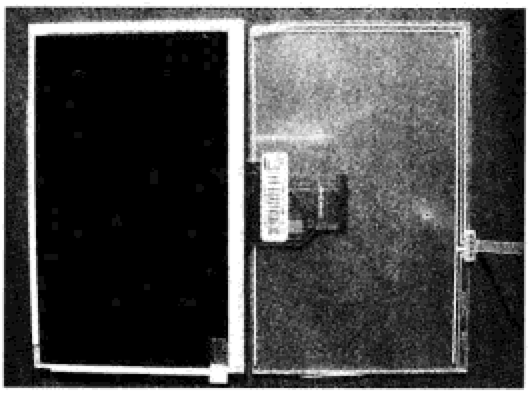


图2 新购到的外屏和内屏

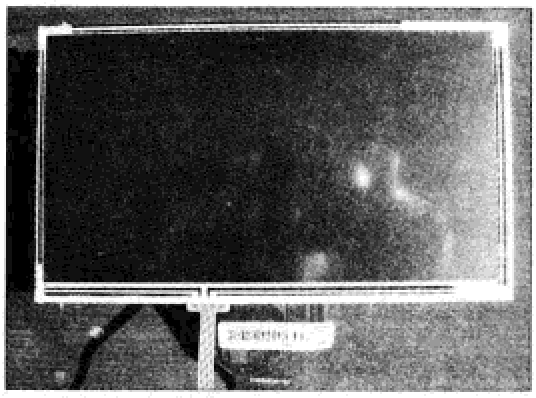


图3 将内外屏合二为一

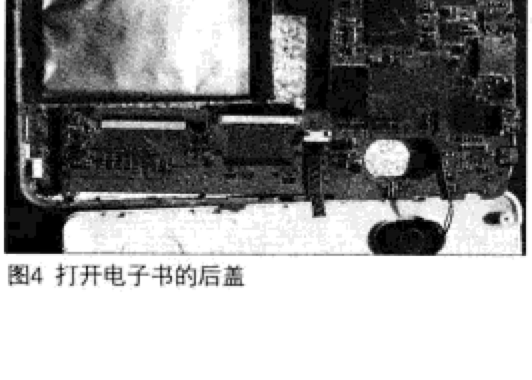


图4 打开电子书的后盖

图5 电子书中的显示屏

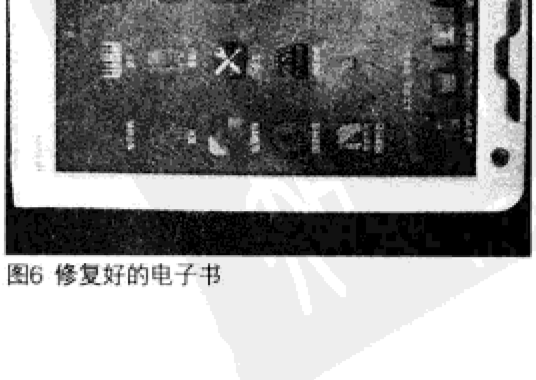


图6 修复好的电子书

问与答

Q 我同学新购一款“昂达”VX530LE 4.3英寸MP4播放器，播放图像清晰逼真,效果很好。只是最近在拷贝一批音乐文件进播放器后，发现MID音乐文件不能播放，而且还无法删除。连接电脑后，双击可移动磁盘，提示“请将磁盘插入驱动器M”，无法打开，这是何故？怎么解决？ **（山东　许隆奎）**

A 该机不支持MID文件，如果实在想播放，可用音频转换软件将MID文件转换成该机支持的格式文件即可。在机子正常和USB连接良好的情况下，是不会打不开可移动磁盘的，极有可能是双击了另一可移动磁盘。该机与电脑相连后，会出现两个可移动磁盘，一个是MP4内存（闪存）磁盘，另一是外部Micro SD卡的磁盘，如没有插卡，该磁盘就打不开，从而出现上述提示。因操作等原因，电脑文件夹内的有些图标会处于界面外部或边缘，此时就可能看不到MP4的内存磁盘，但只要刷新一下就能看到，打开它就可执行删除文件等操作了。 **（王德沅）**

Q 有一支经常使用的数字显示电子体温计，最近开机后液晶显示器却无显示，估计是电池用完了，从透明外壳可清晰看到里面的电池型号为R41，想调换电池，可是无法打开外壳，请问该型号电池的特性如何？怎么调换？ **（北京　余亮）**

A 这种电子体温计是设计一次性使用的，通常电池可用3000次（测量）以上，电池用完，体温计也就报废了，但其机芯寿命远没到期，只要调换电池，应该还能使用多次。通常可用小刀划开体温计外壳头部的凹槽或缝隙，就可打开外壳，调换好电池，重新用胶水或胶带粘合即可。R41是1.55V纽扣电池，外形尺寸为7.9mm×3.6mm，容量为28mAh，具有体积微小、适用温度广、防漏性能好等特点，广泛用于高档玩具、手表、体温计、计步器等电子装置中，因此很易购买到。 **（王德沅）**

Q 一台山水便携式DVD播放机发生一种奇怪的故障，机器倒置时能正常播放碟片，摆正后就不能播放了，如果将它从倒置状态逐渐摆正，可听到“咔咔”的声响，似乎是碟片部位发出的，最后激光头电机停止转动，图声都消失。拆卸反复检查，没发现什么异常，是否是电机的问题？怎么排除故障？ **（浙江　蔡盛博）**

A 这种故障通常是光盘电机运行受阻所致。机器倒置时能正常播放碟片，说明在倒置情况下，光盘电机运行恢复正常。检修时，应断电，在倒置和摆正状态下，用手转动激光头电机的光碟托盘，同时仔细观察托盘的运行。特别注意在摆正状态下的托架运行受阻情况，找到受阻部位，排除受阻因素就可解决问题，实践中以托盘松动、错位、存在异物等较为多见。 **（王德沅）**

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台美的SH2120电磁灶在使用中突然损坏，检查发现是开关电源（芯片VIPer12A）输入端的22Ω/2W限流电阻被烧坏，换上一个同规格电阻，工作没过多久就又被烧坏，再换，不久又烧了，已经换了3次，结果都一样，但VIPer12A始终没坏。检查电源负载没发现问题，这是何故？怎么解决？ **（广西　张启发）**

A 如果VIPer12A的负载正常，这种故障大都是市电电压较高所致。VIPer12A是频率为60kHz的开关电源IC，其输入电压由市电整流得到，变换成18V 和5V 的直流电压，供相应电路使用。如果市电电压较高，VIPer12A输入电压也较高，功耗较大，但由于其允许输入电压范围宽达195~265V，所以只要市电不过高，对它影响不大，但22Ω限流电阻则会因过流而被烧坏。对此，简便的解决方法是加大限流电阻的额定功率或阻值，从降低集成块功耗考虑，可优先采用后者，通常可选用56~250Ω电阻，以电磁炉能正常工作为准。

（王德沅）

Q 新购一台便携式音响，主要用来外接MP3和手机放音，但是在用电源适配器或电脑供电的情况下，将音频连接线插入AUX插口后就会发出较大的噪声，接上MP3或手机后，在没开机时也是一样，开机后正常播放时就没噪声，而用电池供电时无噪声，用手握住MP3时噪声会变小，不知有无简便的解决方法？ **（河南　江尚龙）**

A 这种故障主要是音响放大器电路和信号源（MP3或手机）没有共地，使电源噪声干扰进入放大器所致。若检查数据线正常，则可设法将两者共地连接，但是要改动信号源和放大器内部电路，甚为麻烦，实际意义也不大。所以建议用充电电池供电，这样比较简便有效。另外在适配器供电的情况下，可先调节音响音量至最小，然后插入音频线，连接音响和音源，将音源音量调得较大，再渐渐调高音响的音量至满意即可，这样也可减少或消除这种噪声。 **（王德沅）**

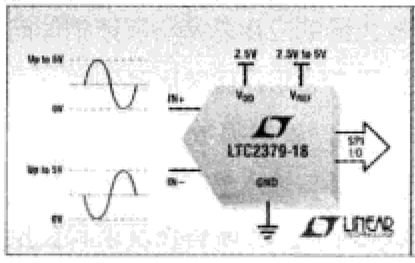
Q 有一块500G移动硬盘，初期使用觉得效果不错，但是后来在复制大容量的电影文件时发现有拷贝不全的问题，好像文件尾部的数据较易丢失，有时则会当机，但复制小文件基本正常，这是电脑连接问题还是硬盘本身不良？ **（云南　汪凯）**

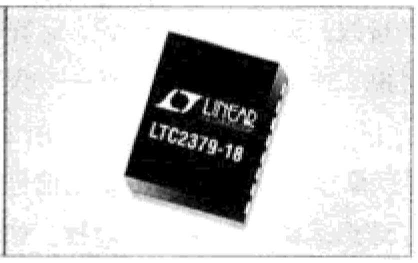
A 原因主要有两个：一是移动硬盘存在坏道，可用HD TUNE等软件检测，如果确认，再试用低级格式化软件进行修复。二是电脑USB插口的5V供电电压不足，在拷贝大文件时平均电流较大，容易使数据传输出错，造成拷贝数据丢失或当机。对此，首先检查USB数据连接线是否太长或质量太差，如正常，可连接移动硬盘辅助电源再试，若移动硬盘无辅助电源插口，就应检修电脑的USB电源电路了。

（王德沅）

凌力尔特推出18位模数转换器LTC2379-18

凌力尔特公司推出一款串行18位、1.6MspsSAR模数转换器LTC2379-18。该器件在支持全差分±5V输入范围的同时，也实现了101dB SNR和-118dB THD。LTC2379-18具有±2LSB的最大INL，在-40~125℃的温度范围内无漏码且性能规格有保证。该器件以2.5V电源工作，仅消耗18mW功率，采用小型3mmx4mmDFN和MSOP-16封装。LTC2379-18的高SNR、快速采样和低功耗使其非常适用于高性能医疗、工业和汽车领域。



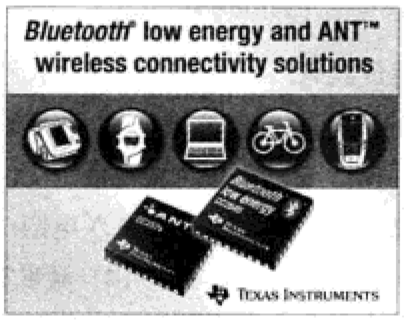


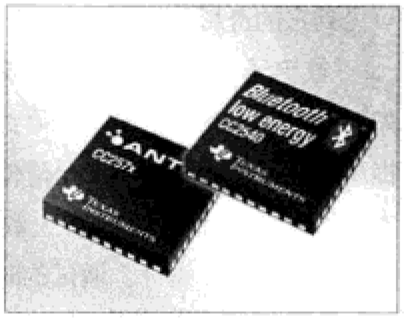
Maxim推出USB充电器识别方案MAX14566E

Maxim推出USB充电器识别方案MAX14566E，支持采用笔记本电脑为便携设备充电，即使笔记本电脑处于休眠或深度休眠模式也可进行充电。该款开关支持USB电池充电规范1.1版以及面向中国市场的CCSAYD/T1591-2006标准。MAX14566E通过充电器识别电路可自动识别所连接的便携设备类型，该电路无需外部软件干预。MAX14566E工作在-40~+85℃扩展级温度范围，采用2mm×2mm、8引脚TDFN封装。此外，MAX14566E还具有一个4pF（典型值）低导通电容和4Ω（典型值）低导通电阻的高性能、高速USB开关。

TI推出无线单芯片解决方案CC2567

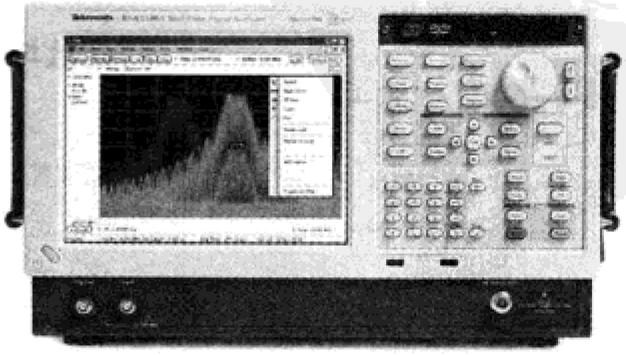
德州仪器（TI）宣布推出首款无线单芯片解决方案CC2567。该器件不但支持超低功耗ANT+设备之间的直接短距离通信，而且还支持PC、智能电话以及平板电脑等依靠蓝牙技术的常用移动设备。作为业界首款双模式器件，CC2567所需的电路板面积比采用两款单模式解决方案（一个ANT+，一个蓝牙）的设计少80%，并可通过具有内建相容性的共享天线实现同步工作。与单模式ANT+解决方案相比，其无线传输覆盖范围可扩大1倍。客户在其设备中整合TICC2567解决方案，可使监控产品支持ANT+，或使终端产品支持蓝牙功能，从而最终充分发挥连接技术的市场推广优势，创建真正无线缆的无线终端用户体验。





泰克推出RSA5000系列实时信号分析仪

泰克公司推出了新型RSA5000系列实时信号分析仪，进一步扩大了其频谱和矢量分析方案产品家族。该系列分析仪采用的DPXLiveRF频谱显示技术可快速发现过去看不到的信号行为，捕获传统频谱分析仪难以发现的持续时间极短的瞬态变化，从而显著提高测试信心。扫频DPX引擎可以每秒292 000次的速度采集85MHz带宽范围内的最新频谱变化，并且可以扫描RSA5000系列6.2GHz整个输入SPAN内的DPX频谱。DPX可以测量持续时间仅为5.8μs的频谱瞬态变化。分析仪可将85MHz带宽范围内持续7秒的RF频率无缝时间记录保存到深存储中。新型系列分析仪缩短了洞察时间并降低了成本，适用于频谱管理、雷达、无线电通信和电磁干扰/电磁相容性（EMI/EMC）等大量应用。



-实用音响技术入门与提高-

◎薛国雄

浅谈集成运放——基础知识

集成运放是当今线性电路中应用最为广泛的功能性器件，包括音频电路在内，现代设计的低频线性电路几乎到处可见到它的身影。

在电子电路中，采用集成运放具有如下优点：一是大大减少元器件的用量，提高了电路的可靠性。二是降低了制造成本，又能使电路性能及其一致性得到保证。三是缩短了设计、调试的时间，加快了产品研发的速度。

了解运放的基本知识，尤其是掌握其使用方法，是学习模拟电路技术的必不可少的课题。

运放与理想运放

运算放大器是一种具有高放大倍数，并可施加深度负反馈的直接耦合放大器。其代表符号如图1所示。其中V+为同相输入端，V-为反相输入端，V_o为输出端。图中并没有画出电源接线。实际的运放都必须要有电源供电才能工作，通常采用双电源供电方式。

图1 集成电路的代表符号

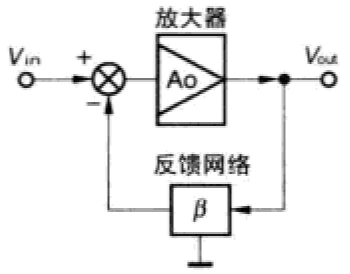


图2 放大器的反馈

为了便于分析掌握运算放大器电路的运作规律，人们引入了理想运算放大器这一概念。理想运放具有理想的参数，其中主要包括：（1）开环放大倍数$A_v=\infty$；（2）输入电阻$r_i=\infty$；（3）输出电阻$r_o=0$；（4）频带宽度$BW=\infty$；（5）没有失调电压输出；（6）没有温度漂移。

但现实中的运算放大器，其各项参数与理想情况有较大差距。为此，生产厂家在推出价格低廉、用途广泛的通用型集成运放的同时，根据电路应用的需求，有针对性地进行某一项参数或多项参数的优化，从而形成了名目繁多、特色纷呈的各种类型运放。比如，高增益型、高输入电阻型、高速型、低漂移型、低噪声型、高电源电压型、高输出电流型、低功耗型、可编程型等。

集成运放是以产品的形式出现的，对于使用者来说，虽有必要了解集成运放的一些内部电路设计，但更为重要的是，要掌握好集成运放的应用知识，以及各类集成运放的性能特点。

运放与反馈

运算放大器名字中有“运算”，也确实能进行模拟运算，但在现今的应用中，运算放大器的“运算”功能已大大弱化，主要还是作为线性器件来使用，并且依靠施加反馈来完成所需的任务。可以说，运算放大器的应用总是与反馈相伴而行——仅在它变通用作比较器时例外。

所谓反馈，就是将放大电路的部分输出信号送回，与输入信号作叠加的处理过程，如图2所示。反馈有正反馈和负反馈之分，正反馈技术主要用于振荡器电路，而负反馈技术则广泛运用于线性放大电路中。

反馈的通用公式为：$A=\dfrac{A_o}{1+\beta A_o}$

式中，β为反馈系数，即输出信号返送至输入端的比例。A_o为施加反馈前的放大电路增益，$(1+\beta A_o)$为反馈深度。对于集成运放的负反馈来说，在合适的频率范围内有βA_o远大于1，于是$\beta A_o+1\approx\beta A_o$，电路的增益就变成为$A=1/\beta$。

这样，A_o就不再影响到电路的闭环增益A，也就是说，闭环增益A的大小与开环增益A_o的大小无关。其背后的意义很重要：一是由于开环增益上的小变动变得无关紧要，也就没有失真产生，电路的线性度得到改善。二是在反馈的作用下能让放大电路在任何情况下都保持正确的增益，那么，就必然会明显改变放大电路的输入和输出电阻。三是如果反馈系数β纯粹由电阻设定，那么上述闭环增益的计算公式中，就不包含任何与频率相关的项。因此在理论上，输出幅度将独立于频率。反过来，如果针对反馈系数引入RC网络，就可以做成增益与频率相关的电路，比如滤波器、分频器、均衡电

路、音调控制电路等。

运放的基本应用

1. 同相放大器

运放构成的同相放大器如图3所示。其输出信号与输入信号同相。由反馈通用计算公式可知，理想情况下其增益为

$$A=\frac{1}{\beta}\cdot\frac{A_o\beta}{1+A_o\beta}\approx\frac{1}{\beta}\text{。}$$

其中，$\beta=\frac{R_S}{R_S+R_F}$，所以

同相放大器的增益$A=\frac{R_S+R_F}{R_S}=1+\frac{R_F}{R_S}$

同相放大器所施加的反馈方式为电压串联负反馈，这种负反馈，具有增大输入电阻、降低输出电阻的作用，而反馈深度（$1+\beta A_o$）又决定了输入电阻、输出电阻的改变程度。

当$R_S=\infty$时，同相放大器增益接近为1，此时的同相放大器称为电压跟随器。R_F减为零，其性能基本不变。如图4所示。电压跟随器常用于高阻抗电路与低阻抗负载之间的配接，起到缓冲/隔离的作用。由于加有很深的负反馈，其缓冲/隔离的作用远胜于单个分立元件构成的跟随器。

2. 反相放大器

运放构成的反相放大器如图5所示。

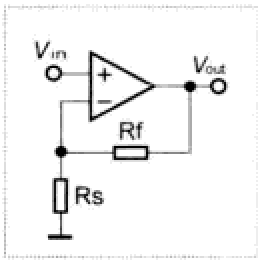


图3 同相放大器

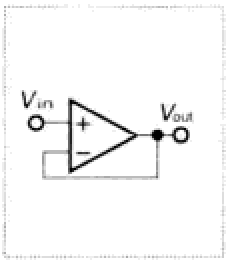


图4 电压跟随器

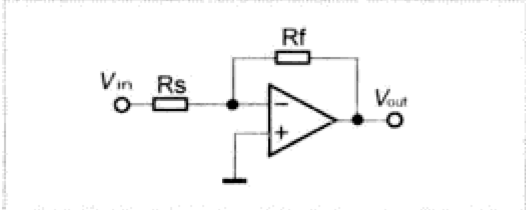


图5 反相放大器

其增益的计算公式为

$$A=\left(1-\frac{1}{\beta}\right)\cdot\frac{A_o\beta}{1+A_o\beta},$$

其中$\beta=\frac{R_S}{R_S+R_F}$。理想情况下，

A_o为无穷大，所以

反相放大器的增益$A\approx1-\frac{1}{\beta}=-\frac{R_F}{R_S}$

式中的负号，表明了其输出信号与输入信号反相。

反相放大器所施加的反馈方式为电压并联负反馈，这种负反馈，能够产生减小输入电阻、降低输出电阻的作用。同样地，反馈深度（$1+\beta A_o$）决定了输入电阻、输出电阻的改变程度。

由于负反馈的作用，运放的反相输入端成为交流电位与地相等的虚地。利用这个虚地，反相放大器可做成多个输入信号相叠加的加法器。如图6所示。

加法器的输出信号

$$A_o\approx-R_F\left(\frac{1}{R1}V_1+\frac{1}{R2}V_2+\cdots+\frac{1}{Rn}V_n\right)$$

可见，输出信号为各个输入信号按比例的叠加，电阻R1至Rn可分别控制各个输入信号的混合比例。加法器在音频应用中，常用于多路音频信号的混合。

3. 积分器

如果将反相放大器的电阻R_F替换为

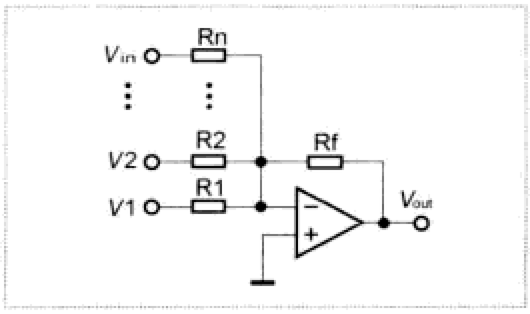


图6 加法器

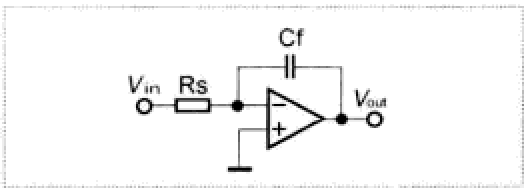


图7 积分器

电容C_F，电路就变成一个积分器。如图7所示。

当频率为f_{0dB}时，积分器的增益为1：

$$f_{0dB}=\frac{1}{2\pi C_F R_S}$$

当频率低于f_{0dB}时，积分器的增益以6dB/oct的速率随着频率的降低而升高，直至增益达到集成运放的开环增益A_o为止。

积分器实质上等效于一个低通滤波器，常用于取出信号中的直流分量。如果使用RC型低通滤波器来获得同样的效果，电容取值就要比这里的C_F大得多（需要的容量约为A_oC_F），几乎不可实现或造价过于高昂，因此，积分器被大量运用于伺服系统中。有些音频放大器，就是利用运放积分器所构成的DC伺服电路，以便将放大器的输出直流偏移电压控制至最小。

除以上常见应用外，在音频设备中，利用运放还可以完成其他一些辅助功能。比如：做成理想二极管电路，以此提供良好的AC/DC变换，用于音频信号的检测读出；做成对数放大器、反对数放大器，用于VU电平的指示；变通用作比较器，进行直流电压的甄别，以便提供相关的保护。做成逻辑“与”、逻辑“或”的电路，用于系统的控制等。

运放的单电源应用

有些运放（比如LM2904）注明是“单电源设计”。可其意只是指，这种运放与逻辑电路配接时，允许采用单电源供电。如果没有留意这些细节，就会错误地将这些运放应用到线性电路中，以为简单地接上单电源就可以工作，如图8（a）所示。该电路的输出信号下半周波形将被削掉，因为输出端的最低电位为0V，无法再朝负电源方向摆动。

线性应用时，无论运放是否注明为“单电源设计”，采用单电源供电时，正确的接法都应该像图8（b）那样。其中，R1与R2建立中点电压，为运放提供直流参考电位，C1的作用是滤除电源进

来的噪声。在同相放大器中，专门设输入隔直电容C2和反馈隔直电容C3；反相放大器也设了输入隔直电容C2。因此，对于同相输入端的直流信号来说，反相放大器和同相放大器的增益都是仅为1。这样，运放的输出端就跟随着同相输入端的直流电位，被置于中点电压附近，从而保证输出信号有良好的正、负两个方向的摆幅，不会出现前述的负半周削波现象。

运放概念的扩展运用

运放的有关应用知识，并不只限于运放本身。只要将运放概念加以恰当的扩展运用，就可以提高对复杂电路的分析判断能力。

实践中，我们有时要面对相当复杂的晶体管电路，比如由分立元件构成的前置放大器或功率放大器电路。如果只是从晶体管的单元电路着眼，就容易陷入“只见树木、不见森林”的境地。有了运放概念后，我们只要将它与反馈理论、晶体管电路知识结合起来，就可以进行扩展运用，对复杂电路进行整体把握，化繁为简，从而快速地掌握该电路的概况，做到心中有数。

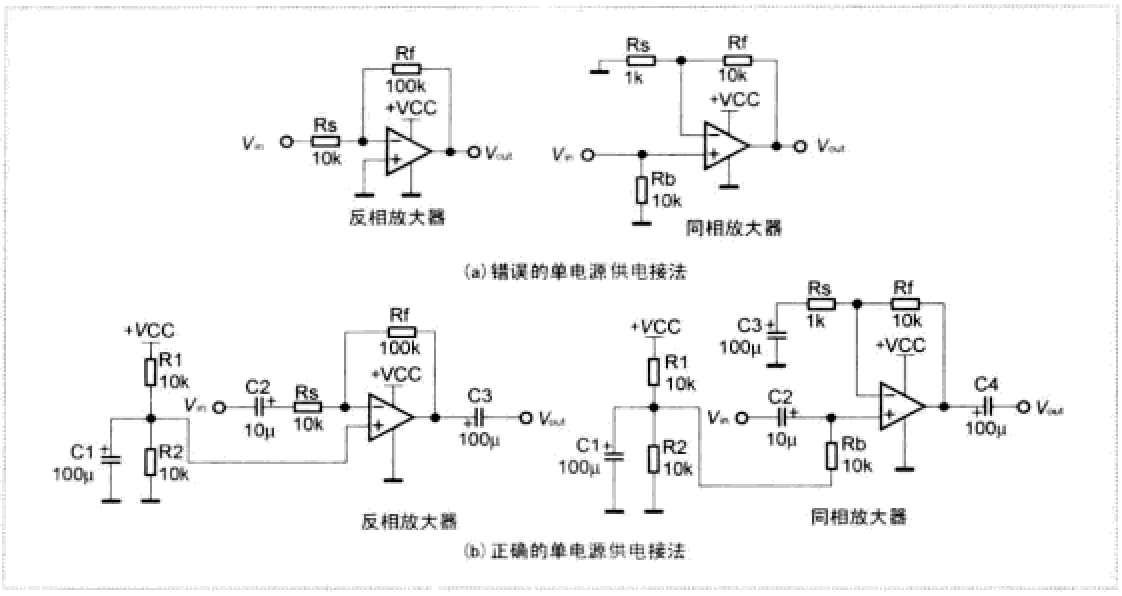


图8 线性应用时的运放单电源供电

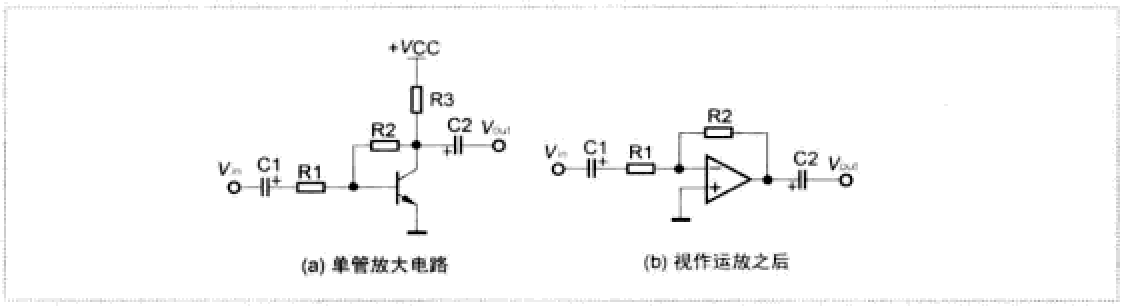


图9 利用运放概念快速判定单管电路

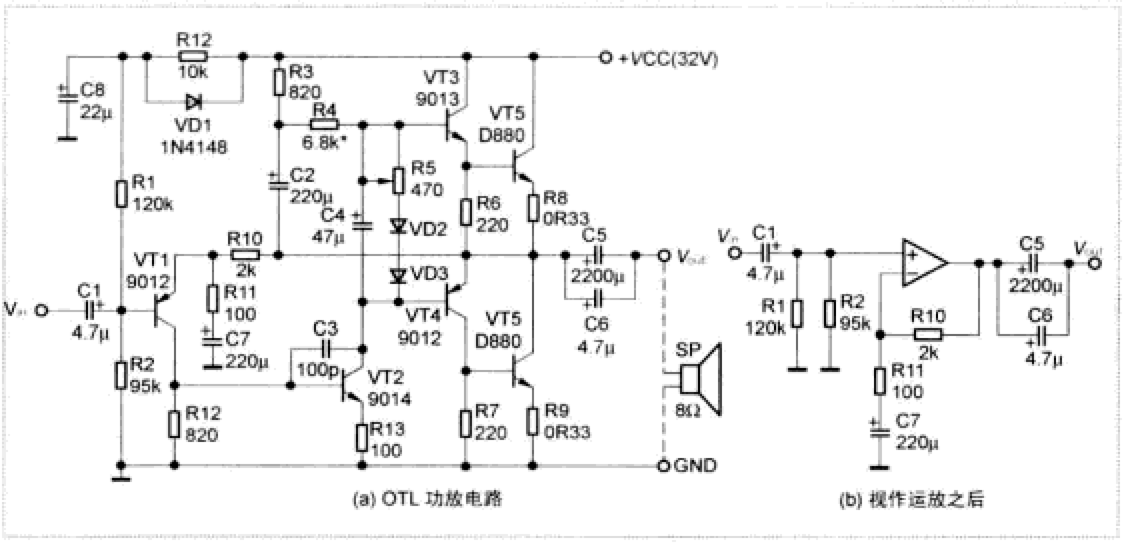
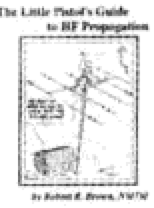


图10 利用运放概念快速掌握复杂电路的工作原理

我们先从一个单管的并联反馈电路开始，看一看如何将运放概念与反馈知识结合，快速判定单管电路的大致情况。如图9（a）所示。三极管的b极为输入端，c极为输出端。我们知道，三极管的b极信号与c极信号是反相的。因此，三极管的b极可视为运放的反相输入端，整个电路就可以看成是图9（b）的形式。再运用运放知识，我们马上就可以知道，b极与c极间所接的电阻，使得该电路施加了并联负反馈，从而令b极处的输入电阻下降，整个电路的输入电阻将略高于R1、但不会很高，增益被控制在R2/R1以下——如果施加负反馈前这个单管电路的增益很大，则电路增益为R2/R1、输入电阻为R1。

对于复杂的多级线性放大电路，类似地可以运用运放的概念来分析。图10（a）是一个早期常见的OTL功放电路图。根据各个输入节点与输出端信号的相位关系，可弄清该放大电路的同相输入端与反相输入端，进而找出其反馈网络。从图10（b）的概念电路图可知，这个电路采用的是电压串联负反馈，闭环后的放大倍数约为$1+R10/R11=1+\frac{2000}{100}=21$。由于这种反馈提升了电路的输入阻抗，所以这个放大器的输入电阻约等于R1与R2的并联，即53kΩ。如果再运用相关的电路知识和放大器设计知识，还可以作更为深入的分析。比如，分析其低端频响等，这里就不一一赘述。



短波传播的奥秘

自1992年经国务院批准正式恢复个人业余无线电活动以来，这项世界范围内广受欢迎的业余爱好在我国获得了恢复性的发展。一方面，爱好者人数近年呈指数性增长，另一方面，火腿们从事的活动也逐渐开始呈现多元化的趋势，这包括业余卫星通信、业余数字通信和短波通信等。现在，越来越多的人已经不满足于VHF/UHF频段的同城通联，从而进入到可以通过电离层通联全球的短波远程通信（DXing）领域。而在国际竞赛（Contest）方面，目前中国业余竞赛电台虽然总体水平还不太高，但发展较为迅速。各地的一些精英竞赛团队和优秀个人近年也曾多次刷新全国和亚洲第24分区的CQWW国际竞赛纪录，具备了一定的实力和影响力。

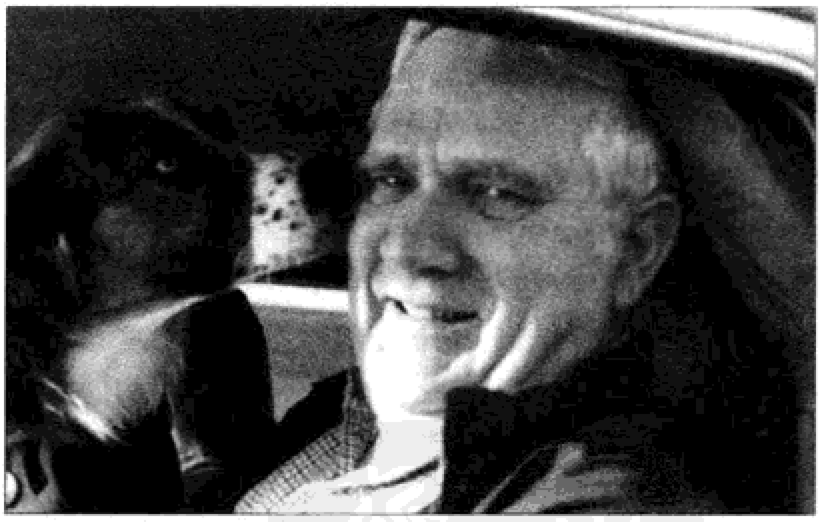
DXing和Contest无疑是业余无线电爱好中颇具吸引力和令人激动的两种活动。作为一名无线电爱好者，在短波（HF）通信方面若想有所收获，获取电离层传播的理论指导是必不可少的。由于历史的原因，国内业余无线电圈子中介绍短波传播的书籍不多，而从爱好者的角度来进行阐述的则更少。因此，在21世纪的今天，我们仍然需要努力践行“拿来主义”。

他山之石，可以攻玉。美国作为业余无线电大国，在理论和实践两方面都达到了空前的水平。本系列文章是笔者译自美国业余无线电爱好者R－布朗（呼号NM7M）撰写的《The Little Pistol's Guide to HF Propagation》，该书得到了比利时著名火腿John（ON4UN）的强力推荐。布朗先生是美国加州贝克利大学的物理学教授，上层大气和地球磁场专家，同时也是一位热衷短波DX通信的火腿。他以学者的渊博知识和爱好者的高度热情，深入浅出地为我们介绍了短波通信的世界。该书风趣、科学且可读性强，既有理论高度，又有针对短波DXing初学者——即书中所谓的“小枪”——的合理建议。取法乎上，仅得其中。希望这些文章的内容会对大家的短波通信实践和DXing带来乐趣。

当谈论DXing（远距离通信，译注）时，我坚信只需要一部100W功率的电台和一支三单元的八木天线就能联络到地球表面上的任何一处。话虽如此，我得承认我本人尚未联络到世界上所有的国家，但我确实有一张WAZ奖状贴在我电台室的墙上，用以支持我的上述论断。如果这还不足以使你信服的话，我有一位朋友只用5W的QRP小功率电台登上了DXCC光荣榜。他是Dan Walker（WG5G），他的成绩是有公开纪录的。所以，作为一名“小枪”也能获得回报，但需要操作技巧以及具有能够充分利用传播的能力。

操作技巧我无法帮助你，它来自于经验。但我认为我可以在传播信息上给予你们一些启发，从最简单的开始，直到对电离层和短波传播的理解。因此，当你在追逐DX（远距离的业余电台或者是稀有业余电台，译注）时，如果想知道并理解“天上”正在发生什么事的话，继续往下读吧。

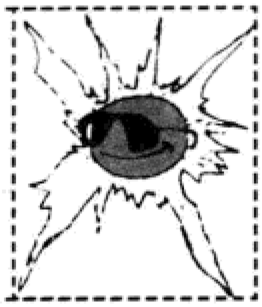
在一开始的章节里讲述太阳和地磁数据时，请不要认为我在拖延你的时间。我这么做是确保你知道去哪里可以得到你所需的信息，并用来衡量当前的传播是平静的还是风暴的。之后，你就可以做出判断：今天最好还是不玩电台，或者，传播指数不错且完全有理由希望上机操作并获取一个新“字头”。


ARRL网站上的NM7M的照片

我的介绍逻辑是带领着你，每次一个电离层跳跃，一直到大约10 000km的距离，环绕地球的四分之一。但这些努力，往往旨在深入到无法进入的区域，会受到高纬度电离层状态的影响，这就将我们的讨论带入了太空时代。从那里开始，会谈到太阳风、太阳耀斑和日冕流、冕洞和物质抛射等，讨论的重点是它们在影响短波传播时所扮演的角色，而不是太阳物理学的理论和复杂性。

——Robert Brown，NM7M

“小枪”的信号传播



◎R. Brown(NM7M)著　刘璞（BA7JS）编译

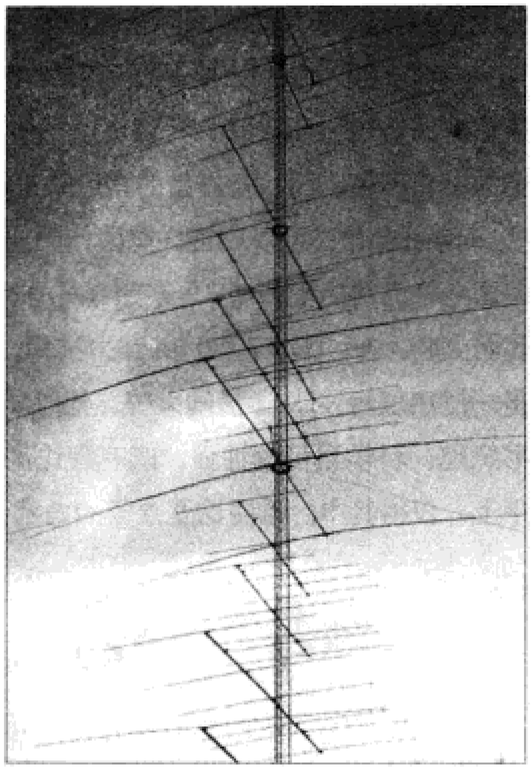
我在第二次世界大战之前开始玩业余无线电。确实，在20世纪30年代末，人们对DXing抱有极大兴趣，DXCC（通联100个国家的业余无线电奖项，译注）项目是1937年启动的。但我不记得是否有人会因为被别人指为“大炮”而神气活现，或者是有人会因为自己仅仅是一杆“小枪”而觉得羞怯。

什么是“小枪”

我们来看看一个典型的“小枪”都包括了些什么。首先，“小枪”通常都在每个波段的高端且使用“赤脚”（指未加功率放大器，译注）功率的电台，也就是一台带有一些“花哨”功能的100W射频功率输出的收发信机。而天线系统大致是一个3单元/3波段的八木天线，离地面7～12m。也许还有一只40m波段的天线，比如缩短垂直天线，或者是一个顶点约9m高的倒V天线。作为比较，一个“大炮”级别的业余电台则具有一台极为花哨的时髦收发信机，后面接着一台硕大的线性功率放大器。在功率方面，可以是从100W一路到合法的最大功率（美国为1500W，我国为500W，译注），而只需要拨动一个开关。天线应该是堆叠的或其他方式组成的单波段八木天线阵，通常有好几支铁塔，且高度都在12m以上。也许还包括一支40m波段的八木天线，当然还有离地面很高的80m和160m波段的双极天线，用于低波段DXing。你可以看到“大炮”电台的设置，那可是一丁点儿都不逊色的。

而在战绩方面，“小枪”被DX虫子咬了（指玩DX上了瘾，译注），而且可能已经迈出了第一步，获得了DXCC奖状，并且一直想联络更多的国家，以便跻身于DXCC光荣榜。这是一个艰巨的任务，每一位“小枪”都知道，“国家光荣榜”里的“大炮”们，而且通常都会以其中的某一位作为楷模。这对“小枪”来说，就是个数字游戏，即已经得到QSL卡片确认的国家或地区的数目与申请光荣榜所需的国家/地区数目之差。

在这些任务之上，我现在还要加上——跟踪当前的太阳和地磁状况。这运用我下面要叙述的电离层知识，这是“小枪”变“大炮”的关键。



“大炮”电台的天线阵列

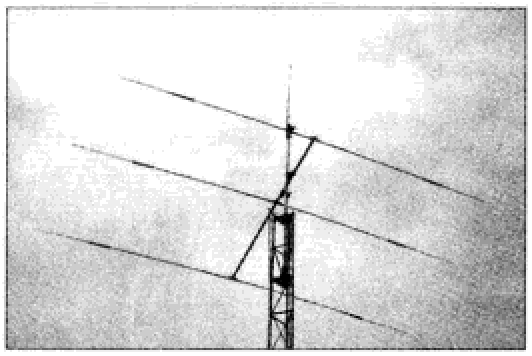
“小枪”信号的电离层传播

“小枪”知道，射频其实就是电磁波，随时间变化的电磁场，可以在真空中以光速传播。“小枪”在做DXing的努力中，这些电磁波实际上是通过某种物质媒介传播的，就是上层大气中被轻微电离化了的那部分，称为电离层。确实，如果运气好，“小枪”的信号跑进了电离层，然后在离出发地很远的地方又可以回到地球上。在某些圈子里，这被称为电离层反射，但更准确的术语是折射，或者说是电波运行的路径被弄弯曲了。

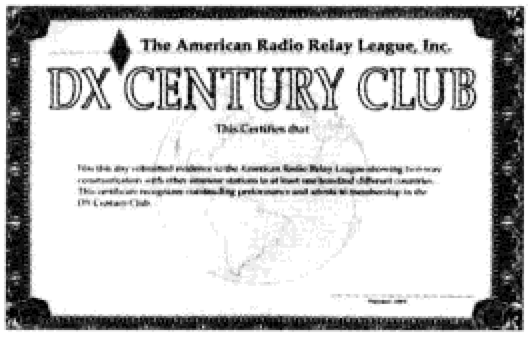
装配大炮的ACOM 2000A线性功放

从这一结果我们知道，电波经过一种由自由电子组成的媒介，其电子的浓度——即每立方米的电子数

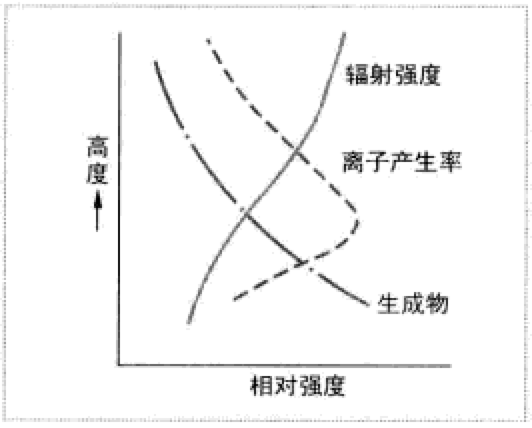
可以装配成大炮的IC-7800


“小枪”的天线塔

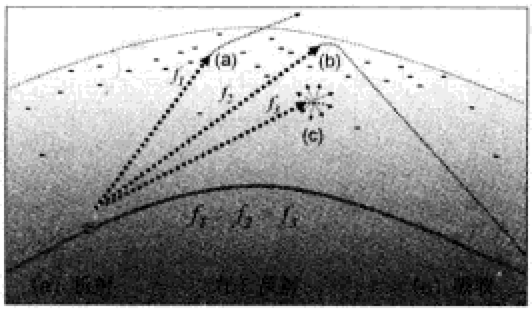
只能算小枪的FT-897



DXCC奖状



电离层示意图



射频与电离层互相影响

目——随高度的增加而增加。“小枪”也知道电离层是由好几层组成的，F层是最高的，大约在离地面300～400km高度时，电子的浓度达到峰值，然后是E层大约110km，最后是最低的D层，低于90km。

当今的这个复杂电离层结构与20世纪30年代早期Chapman构想的单层电离层形成了对比。那个时候，如附图所示，人们假设太阳光谱中的紫外线（UV）量子在穿透大气层时会遇到一直增加的可离子化的原子和分子，由此会以不断增加的速率产生电离。但是阳光在这个过程中会被吸收，在靠近地球表面时辐射强度也会降低。其结果是，产生的电离率会（在某一处）达到峰值，然后在较低的高度上，电离率就会下降。实际上，太阳光谱中的UV量子具有足够的能量，不仅和上面提到的一样，可电离氮气和氧气的分子，还可以将它们分解成各自相应的组成原子。

不用说，在太阳紫外线到达的上层大气中“会发生的早晚会发生”，“小枪”不必惊讶于这个结果，即大气层的化学成分会随着高度而变化。更具体地说，从地面到100km的高度上，大气层混合着对流和湍流，并且具有相当程度上一样的各大组成成分——氮气（78%）和氧气（21%），但是还有一些不均匀分布的微量成分（例如水蒸气、二氧化碳和臭氧）。但在高于100km时，由太阳的UV分解分子氧而产生的原子氧，将随着高度的增加而获得更大的相对重要性。

“归根到底，无线电传播涉及带电粒子——电子，对吗？”我不会说“错！”，但也许会说“不准确！”。实践证明，电离层的电子会发现它们身处一个天空中巨大的化学实验室，包含了所有的电子，正离子、原子和分子全都混在一起，就是这样。确实，在正确（或错误）的情况下，一些原子、分子或离子对电子的浓度有不利的影响，以至会削弱对于“小枪”信号至关重要的传播。所以“小枪”必须注意这些理论，并牢牢掌握现代电离层的概念。

高处的电离层包含了自由电子和正离子，它们来自于氮气分子、氧气分子和原子氧，以及少量但是重要的自由离子－－分子相互作用而形成的正离子。“小枪”也许明白，电离层中的电子浓度会随着高度而变化，但也许不知道这个变化取决于电子的产生与消耗之间的一场竞赛。

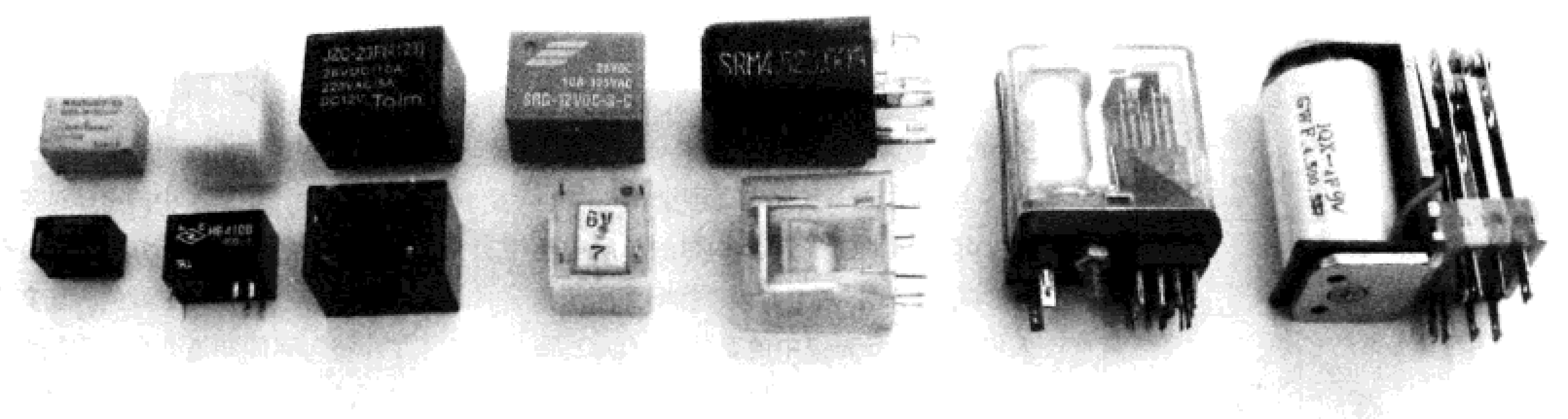
“小枪”可能知道这个过程的变化速率随高度而改变，伴随着太阳照射（产生电子）和化学成分的改变（消耗电子）。现在，“小枪”懂得了大气层和电离层中的物质是环境的一部分，被地球引力场捕获在地球上。“小枪”的DXing在探索电离层，它时不时显现出电离程度的变化。但是中性大气中的变化逃过了“小枪”的注意，它对短波无线电信号没有直接的反应。

又一次地，想象力起了作用，“小枪”知道环境的两个部分都在变化，这是太阳照射变化的结果。但是“小枪”也许不明白的是，电离层也受到地球磁场及其变化的控制。在静态的情况下，地磁对电离层的控制可能对“小枪”而言是一个新概念。“小枪”极有可能听说过，甚至经历过与地磁暴同时发生的电离层暴的效果，以及它们对短波传播的影响。这些情况对“小枪”的DXing是不利的，而且事实证明，对此做出解释是非常复杂的。因此，“小枪”应该关注这些问题，想成为“大炮”在极大程度上取决于如何处理这些情况。

我们还需要加入讨论的是定量的方面，特别是那些通过地球表面的DX路径，它们对于地磁场的位置和太阳照射的效应，快者以一日而慢者以一个太阳周期为单位。这些附加的讨论将使电离层知识变为一个定量决策工具，我相信，这对“小枪”好处极大，所以让我们来吧，从太阳开始（下一篇，介绍太阳的辐射及传播要素）。

常用元器件的识别与使用（20）

◎张晓东



“以弱控强”的电磁继电器

电磁继电器是一种最常用的具有隔离功能的电磁操纵自动开关，它由控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路）两部分组成。它可做成利用声、光、磁、热等信号控制的自动开关，可以实现用一个低压安全电路去控制另一个高压或大电流电路等，并实现控制电路与被控电路之间电气的完全隔离。由于其具有控制可靠、隔离彻底、控制形式多样（接通、断开或转换）、可同时控制多组负载等特点，所以在自动控制、遥控、安全保护、信号交换等机电一体化及电力电子设备中得到广泛应用，是最重要的控制器件之一。

电子爱好者在制作或维修各种自动控制等装置时，不可避免地要跟各种电磁继电器“打交道”，下面就向大家介绍常用电磁继电器的识别方法。

结构及原理

图1所示是常用普通电磁继电器的内部结构示意图，它主要由铁芯、线圈、衔铁（动铁芯）、弹簧、动触点、静触点和一些接线端等组成。静触点包括常闭触点（动断触点）、常开触点（动合触点）两种。触点的材料通常用铜、银、金及其合金，其中以铂金合金为最好，这样的触点接触电阻小，并且不易氧化。平时，随衔铁联动的动触点与常闭触点接通。只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服弹簧的返回拉力吸向铁芯，从而带动动触点与常闭触点分离、与常开触点接通，这一过程被称为电磁继电器的“吸合（动作）”。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力下返回原来的位置，于是动触点与常闭触点恢复接通、与常开触点分离，这一过程被称为电磁继电器的“释放（复位）”。可见，随着电磁继电器的通电“吸合”和断电“释放”，通过触点组就可以轻而易举地实现对被控电路的“开”或“关”控制。由于通过线圈的工作电流与触点之间并没有电的联系，所以控制电路与被控制电路之间在电气上是完全隔离的。

对于电磁继电器的各个触点，可以这样来理解和区分：在线圈未通电的条件下，处于断开状态的静触点称“常开触点”，处于接通状态的静触点称“常闭触点”。这两种静触点分别与动触点（公共触点）配合，才构成一组完整的转换触点，才能完成对被控电路的“开”或“关”控制任务。而一个电磁继电器可以同时存在数组这样的触点（每组中可以缺少常开或常闭触点），以实现对多个不同负载的同步控制。

电磁继电器的工作原理可通过图2所示的实验电路来进一步说明：当开关SA

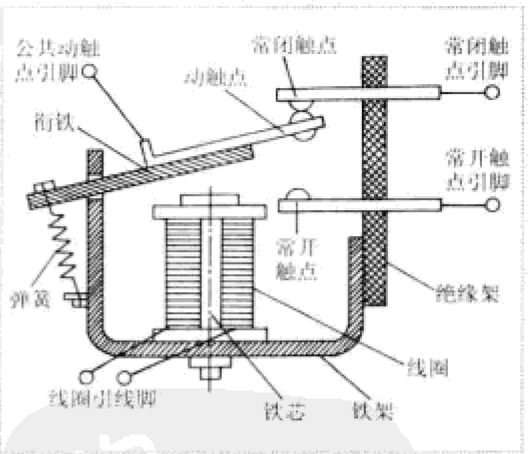


图1 电磁继电器内部结构示意图

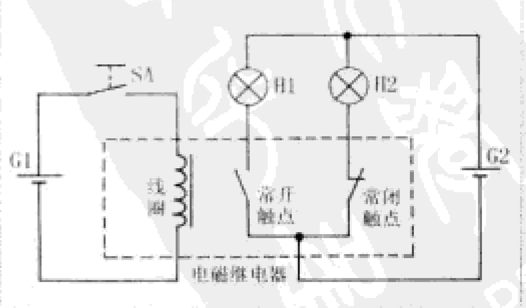


图2 电磁继电器的实验电路

断开时，电磁继电器的线圈无电流流过，线圈没有磁场产生，电磁继电器处于“释放”状态，其常开触点断开、常闭触点闭合，灯泡H1不亮、H2亮。当开关SA闭合时，电磁继电器的线圈中有电流流过，线圈产生磁场吸合内部衔铁，使电磁继电器处于“吸合”状态，其常开触点闭合、常闭触点断开，结果灯泡H1亮、H2熄灭。可见，电磁继电器是一种利用电磁原理来控制触点开关通、断的器件，它一般是用一种电回路去控制另一种电回路，这也是“继电器”一词的来历。电磁继电器的最大特点是：可以实现用较小的电流去控制较大的电流、用低电压去控制高电压、用直流电去控制交流电等，同时可以实现控制电路与被控电路之间电气的完全隔离。

外形和种类

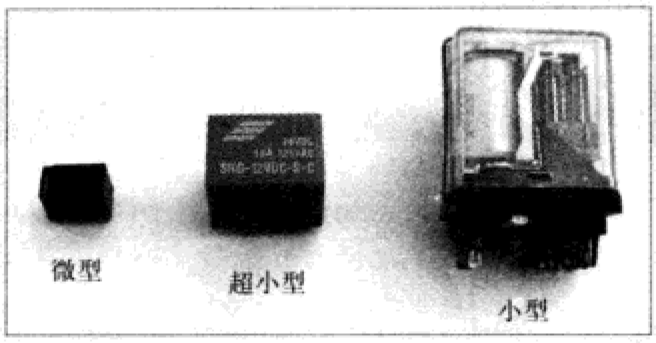
常用电磁继电器的外形及分类如图3所示。电磁继电器几乎全部都封装在塑料、有机玻璃或金属防尘罩内，有的还是全密封的，以防人体触电或触点氧化。一般小型电磁继电器的密封性要远优于体积较大的继电器，这是因为它们大多都设计制造成能够直接在印制电路板上焊接、并符合线路板整体清洗要求的产品，从而为使用提供方便。

常用电磁继电器种类很多，按照体积大小不同，可分为图3（a）所示的微型、超小型和小型3种；按照封装形式不同，可分为图3（b）所示的不能打开外壳的全密封式、能够打开外壳的封闭式和不多见的无外壳敞开式；按照工作电压类型的不同，可分为直流型电磁继电器、交流型电磁继电器和脉冲型电磁继电器。按照触点形式的不同，可分为常开触点电磁继电器、常闭触点电磁继电器和转换触点电磁继电器。按照触点数量的不同，可分为图3（c）所示的单组触点电磁继电器和多组触点电磁继电器两类。多组触点电磁继电器既可以包括多组相同形式的触点，也可以包括多组不同形式的触点，它们可同时动作。

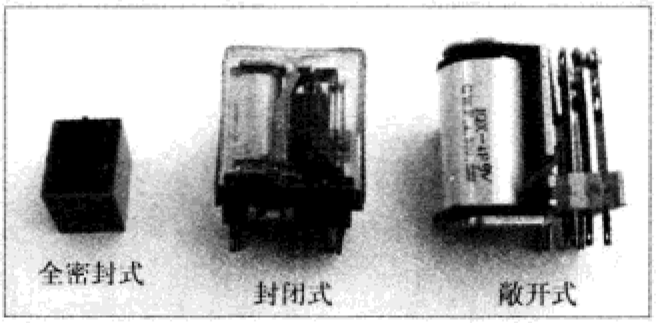
主要参数

选用电磁继电器需要关注的主要产品技术参数有以下几种：

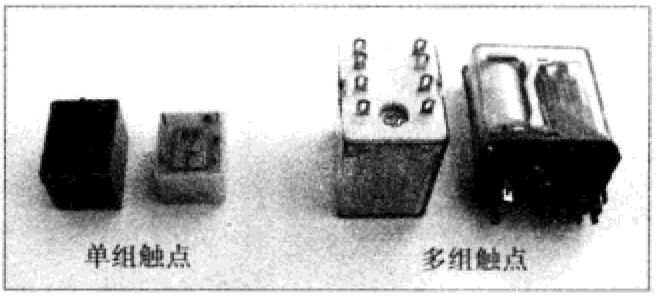
1．额定工作电压（电流）。这是指电磁继电器可靠地工作时需要加在线圈两端的电压（或流过线圈的电流）。根据电磁继电器的型号不同，可以是交流电，也可以是直流电。而同一种型号的电磁继电器，往往有多种额定工作电压（电流）以供选择，并在型号后面加以规格号来区别。实际应用时，线圈两端所加的工作电压（或流过的电流）一般不允许超过额定工作电压（或电流）的1.5倍，否则会产生过热而把线圈烧毁。



(a) 按体积大小区分



(b) 按封装方式区分



(c) 按触点数量区分

图3 电磁继电器的分类

2. 线圈电阻。这是指电磁继电器中线圈的直流电阻，可以通过万能表来测量。对于直流电磁继电器，线圈电阻与额定工作电压和额定工作电流的关系符合欧姆定律，即：*线圈电阻＝额定工作电压÷额定工作电流*。

3. 吸合电压（电流）。这是指电磁继电器能够产生吸合动作的最小电压（电流）。在正常使用时，加在线圈两端的电压（或通过线圈的电流）必须大于吸合电压（电流）、等于额定工作电压（电流），这样才能保证电磁继电器稳定可靠地吸动。一般吸合电压为额定工作电压的60%～85%。

4. 释放电压（电流）。这是指电磁继电器产生释放动作时所允许残存于线圈两端的最大电压（电流）。当电磁继电器在吸合状态下的线圈工作电压（或电流）减小到一定程度时，电磁继电器就会恢复到未通电的释放状态。释放电压（电流）要远小于吸合电压（电流）。

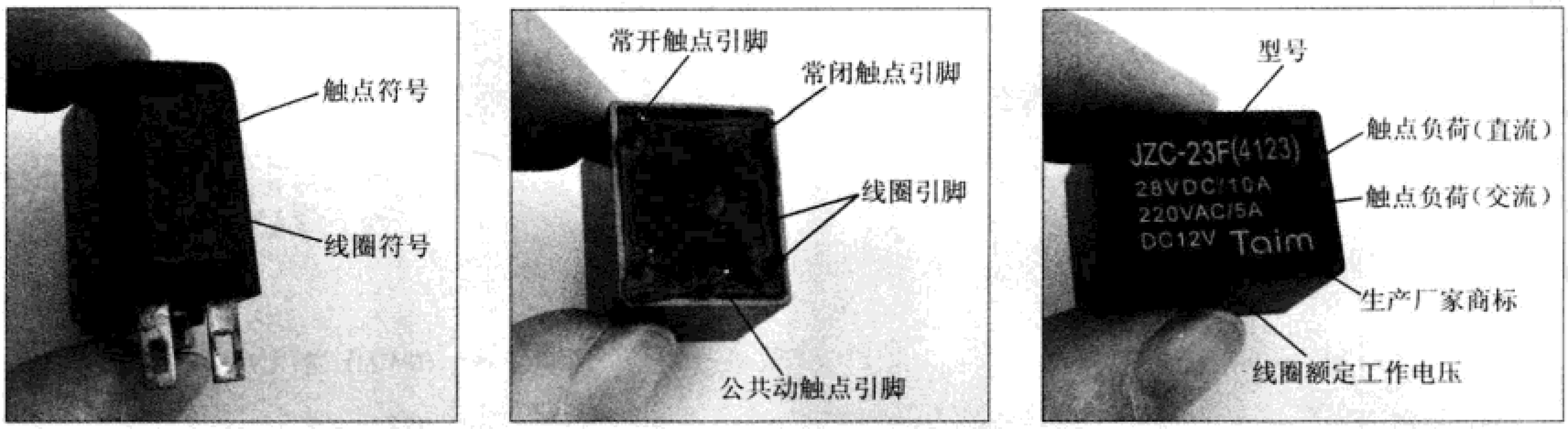
5. 触点负荷。也称触点容量，这是指电磁继电器的触点在切换负载时所能够承受的最大电压和电流值，它决定了触点控制负载的能力。例如，JRX-11型电磁继电器的触点负荷为直流1A×28V或交流0.5A×220V。使用中通过触点的电流、电压均不应超过规定值，否则会烧坏触点，造成电磁继电器的损坏。一个电磁继电器的多组触点的负荷一般都是相同的。

型号命名

国产电磁继电器的型号命名一般由五部分组成，其格式和含义如图4所示。第一部分用字母“J”表示“继电器”主

附表　几种常用国产电磁继电器的性能参数

类别	型号	规格代号	线圈电阻(Ω)	电参数			触点负荷	触点形式	外形尺寸(mm)	消耗功率(W)
				额定电压(V)	吸合电压或电流	释放电压或电流				
微型电磁继电器	JRW-6M	RG4.553.364	75	5	≤3.2V	≥0.4V	27V×0.5A(直流)	2Z	φ8.6×10.5(不含引脚)	≤0.43
		RG4.553.363	120	6	≤4.0V	≥0.6V				
		RG4.553.362	550	12	≤8.0V	≥1.2V				
		RG4.553.361	1700	27	≤17.0V	≥2.7V				
	JRW-130M	005	125	5	≤2.8V	≥0.23V	27V×2A(直流)	1Z	φ8.51×9.53(不含引脚)	≤0.2
		006	255	6	≤3.5V	≥0.28V				
		009	630	9	≤5.3V	≥0.54V				
		012	1025	12	≤7.0V	≥0.63V				
		018	2300	18	≤10.5V	≥0.91V				
		027	4000	27	≤14.2V	≥1.37V				
超小型电磁继电器	JRC-21F	HG4100.003	25	3	≤2.2V	≥0.3V	24V×1A(直流)	1Z	15×10.2×10(不含引脚)	≤0.45
		HG4100.006	100	6	≤4.5V	≥0.6V				
		HG4100.009	220	9	≤6.7V	≥0.9V				
		HG4100.012	400	12	≤9V	≥1.2V				
		HG4100.024	1600	24	≤18V	≥2.4V				
	JZC-7F	HG4099.003	25	3	≤2.2V	≥0.3V	24V×1A(直流)	2Z	21×16.5×15(不含引脚)	≤0.36
		HG4099.006	100	6	≤4.5V	≥0.6V				
		HG4099.009	220	9	≤6.7V	≥0.9V				
		HG4099.012	400	12	≤9V	≥1.2V				
		HG4099.024	1600	24	≤18V	≥2.4V				
	JQC-3FA	T73.003	25	3	≤2.1V	≥0.3V	24V×5A(直流)、120V×5A(交流)	1Z	22×15.8×16(不含引脚)	≤0.36
		T73.005	70	5	≤3.5V	≥0.5V				
		T73.006	100	6	≤4.2V	≥0.6V				
		T73.009	225	9	≤6.3V	≥0.9V				
		T73.012	400	12	≤8.4V	≥1.2V				
		T73.024	1600	24	≤16.8V	≥2.4V				
		T73.048	6400	48	≤33.6V	≥4.8V				
小型电磁继电器	JRX-13F	SRM4.523.037	300	12	≤20mA		48V×0.25A(直流)、110V×0.3A(交流)	2Z	35×20×26(不含引脚)	≤0.4
		SRM4.523.036	700	18	≤13mA					
		SRM4.523.038	1200	24	≤9.5mA					
		SRM4.523.035	4600	48	≤6mA	3mA				
	JQX-1F	RJ4.523.073	25	6	≤4.1V		28V×5A(直流)、250V×5A(交流)	3Z	40×35×48(不含引脚)	≤1.5
		RJ4.523.072	90	12	≤8.2V					
		RJ4.523.071	150	16	≤11.0V					
		RJ4.523.061	450	24	≤17.0V					
		RJ4.523.060	900	36	≤25.0V					
		RJ4.523.059	1500	48	≤33.0V					
		RJ4.523.058	2500	60	≤43.0V					
	JQX-4F	SRM4.500.092	110	6	≤40mA	≥8mA	220V×3A(交流)	4H、1Z2H、2Z	45×30×55(不含引脚)	≤0.5
		SRM4.500.093	450	12	≤20mA	≥4mA				
		SRM4.500.094	1800	24	≤10mA	≥2mA				
		SRM4.500.095	7200	48	≤5mA	≥1mA				



（a）引脚图标　（b）5引脚排序　（c）外壳字标

图5 电磁继电器的典型标识

称。第二部分用字母表示功率或形式，其中“W”表示微功率，“R”表示弱功率，“Z”表示中功率，“Q”表示大功率，“M”表示磁保持，“P”表示高频率，“L”表示交流，“S”表示时间，“U”表示温度。第三部分用字母表示外形特征，其中“W”表示微型（最长边尺寸≤10mm），“C”表示超小型（最长边尺寸≤25mm），“X”表示小型（最长边尺寸≤50mm）。第四部分用1～2位数字表示产品序号。第五部分用字母表示封装形式，其中“F”表示封闭式，“M”表示密封式，无字母说明是敞开式。例如，JRW-5M为弱功率微型密封式电磁继电器，JZC-21F为中功率超小型封闭式电磁继电器，JQX-4为大功率小型敞开式电磁继电器。

实际上有的厂家生产的电磁继电器，其型号命名并不完全遵循上面的规则，有些采用“HG××××”格式命名（如：HG4100、HG4088、HG4099等），有些则按厂家自己制订的标准命名。尤其是合资企业生产的产品，多直接采用了国外型号。因此，市场上电磁继电器产品的型号可谓五花八门，令人无规律可循。其实在业余条件下选择和使用同一类型的电磁继电器时，大可不必对型号追根问底，只要产品的主要参数符合需求就行了。

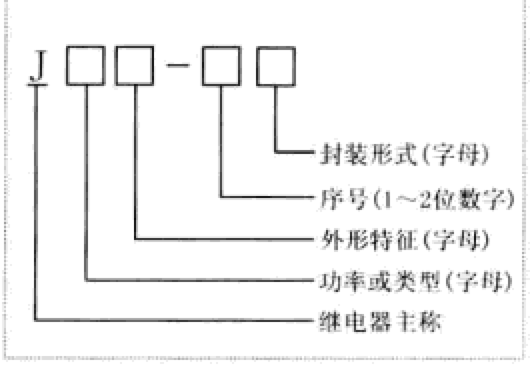


图4 电磁继电器的命名规则

附表给出了几种常用国产电磁继电器的型号及性能参数，仅供参考。其中“触点形式”中字母的含义为：H表示常开触点（动合触点），D表示常闭触点（动断触点），Z表示转换触点。字母前面的数字表示触点组数。例如，2H1D表示有2组常开触点和1组常闭触点，3Z表示有3组转换触点。需要说明的是，不同厂家生产的同一型号的产品，其触点负荷往往有所不同，使用时应以厂家产品说明书为准。

产品标识

电磁继电器具有2个线圈引脚和若干个触点引脚，非密封型和透明外壳的产品引脚可直接观察识别。密封型电磁继电器一般会将引脚示意图标示在外壳上，如图5（a）所示。只带1组转换触点的电磁继电器，是应用最普遍的产品，它有常开触点、常闭触点和公共动触点（转换触点）3个触点引脚，加上线圈的2个引脚，这种电磁继电器总共有5个引脚，并且多按照图5（b）所示的脚位排列。电磁继电器的外壳上一般均标出型号、主要参数、生产厂家标识等，如图5（c）所示，这为识别和使用提供了方便。如果需要了解更详细的参数和性能特点等，就只能查阅厂家产品说明书或电磁继电器产品手册等。

电磁继电器品种繁多，其引脚数目有多有少，引脚排位各不相同，使用时只能根据产品外壳上给出的引脚图标或产品说明书提供的脚位图获得具体的引脚排列状况。对于标识不清楚、也无法打开外壳观察引脚排列及触点形式的电磁继电器，可借助万用表欧姆挡进行测试，并作出正确判断。

另外，常用的电磁继电器按线圈供电方式不同，可分为交流电磁继电器与直流电磁继电器两种，直流电磁继电器外壳上所标出的额定工作电压值前面或后面一般还标有“DC”（直流）字符，参见图5（c）所示，而交流电磁继电器上则标有“AC”（交流）字符。对于非密封的产品，还可观察铁芯顶端是否嵌有一个铜制的短路环，有铜环者为交流电磁继电器，无铜环者则为直流电磁继电器，依此也可将两者区别开。

短波传播的奥秘

太阳辐射如何影响短波传播

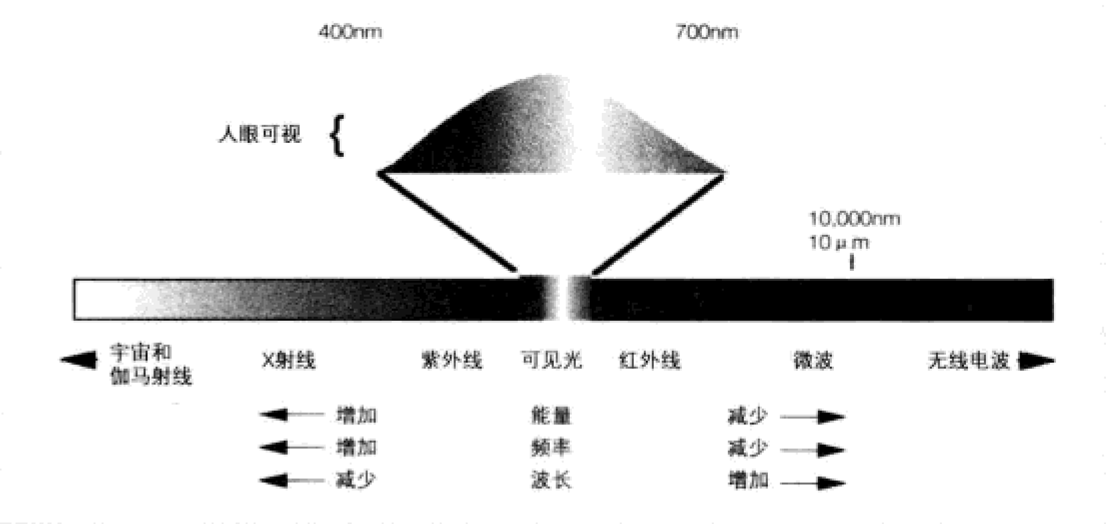
◎R.Brown（NM7M）著　刘璞（BA7JS）编译

我们所熟悉的太阳辐射是在频谱中的可见光部分，其波长为400~700nm（1nm=1E-9m），从紫色光到红色光。使用更传统的单位，可见光谱位于4000～7000埃（1埃=1E-8cm），辐射的频率等于光速（300 000 000m/s）除以波长。这个事实让我们察觉到可见光辐射的频率，是在1E+14Hz左右，或者说是比典型的高频（即短波）业余无线电频率（3~30MHz）高上约1亿倍。

可见光频谱可以穿过“大气窗口”，而负责产生电离层的辐射却不能，它们在上层大气中电离和分解原子和分子时，在很高的高度就被吸收了。就我们的目的而言，在处理高频传播时，令人惊奇的事情是，仅有极其微小的一部分，大约是照射到地球大气上的太阳辐射的0.001%，是作为电离过程的能源。想想看吧，1个百分点的千分之一，是不是很惊奇？

这部分充满能量的频谱是位于可见光谱之下的，处于超紫外线(EUV)和X射线范围之内。而作为电离或分解大气成分的辐射，其能量必须等于或大于电离电压或者是原子和分子的结合能量。我们用电子伏(eV)来代替焦耳，后者是在公制体系中表述机械能量的。1eV是1个电子获得1V电压差的能量。

我们来快速阅览一下高中化学课本，它显示氢原子——所有原子中最简单的，其电离电压为13.6eV。正如你可能期望的那样，在上层大气中，能够找到的原子氧的电离电压，也（与氢）大约相同，而原子氮大约要高出1eV。上层大气中那些重要的双原子分子中，氧气、氮气和一氧化氮（NO），它们的电离电压分别为：12.5eV、15.5eV和9.5eV。在此基础上，太阳光谱中能有效地产生电离层的那一部分是波长大约为100nm（1000埃）或更短一些的。这一范围也适用于氧气和氮气分子的光分解作用，产生各自的成分原子。



要注意的是，“平静的”太阳不仅发射100 nm波长范围的EUV光子，还有波长更短的X射线，比如说10nm，甚至1nm。所以，它们也对上层大气的电离做出了贡献，且其程度符合它们在太阳光谱中的相对强度，以及上层大气中（可用于电离的）目标的丰富程度。

上述论述适用于所谓的“平静的太阳”，但有时候太阳是很不平静的，会在整个频谱上发出一阵阵的辐射，比如说无线电噪声、光线和X射线。很明显，这些波动中的能量光子会改变电离层中的电离总量，从而影响“小枪”（100W以下的电台）的DXing活动。所以问题产生了，“小枪”自己可能有办法来获知从太阳来的能量或其他性质的光子通量的变化吗？”

这个问题的答案是“可能！”而且取决于前面提到的那部分频谱。如果“小枪”正操作在短波频谱的高端，比如说10m波段，太阳噪声的爆发应该可以听得到，类似于“呜嘘……”的声音，而如果足够强的话，“太阳QRN（Q简语，来自自然中的噪声）”甚至可能干扰“小枪”追逐DX。另一种可能性是，当“小枪”正在通联中，所使用的路径通过地球上阳光照射的部分，那么，伴随着太阳耀斑而

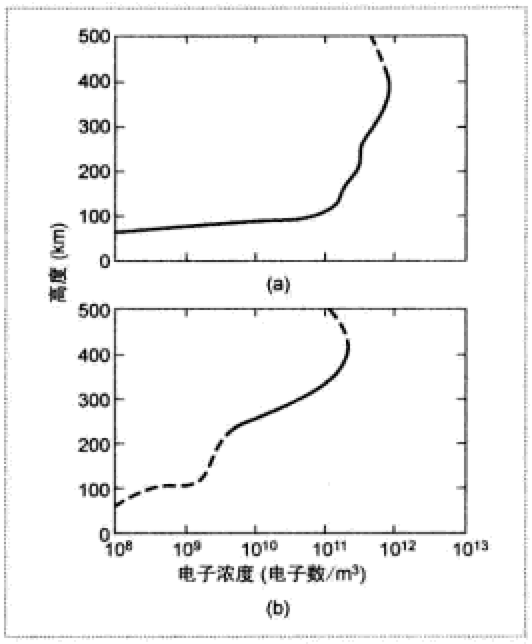


图1 电子浓度剖面：(a)白天，(b)晚上。

增强的EUV和X射线会使信号减弱，甚至达到中断全部通信的程度。而可见光的增强，作为太阳扰动状态的一个指标，则极不可能产生上述效果。太阳频谱的可见光部分的变化是需要用复杂的光学仪器来观测的。

上述对太阳光子流变化问题的回应，是假设“小枪”是唯一的观测者。当然，事实并不如此，因为有一整个行业在观测和“倾听”太阳。所收集到的信息会很快会广泛地传播，所以如果“小枪”错过了太阳上发生的一些活动，还是可以根据某一天的太阳数据来获取信息的。因此，如果“小枪”想知道那些会影响DXing的太阳辐射数据的任何变化，只用去获取太阳记录并加以查看。对“小枪”而言，这是与DXing相伴随的一种锻炼，即保持对太阳/地磁状况的记录。

没有必要告知“小枪”短波传播是什么构成的，因为它已经在实践了。因此，“小枪”知道信号是被电离层折射，一次跳跃接着一次跳跃地回到了大地上。更准确地说，在“小枪”的DXing活动里，是要揭示更多的关于电离层跳跃如何发生以及影响它们的因素。有些因素就在地面上——地面反射导致的信号损失和极性的改变——而其他的则在更高的高度上，高至形成电离层的区域。

现在“小枪”的射频信号作为扩散的电波离开了地面，信号强度的垂直分配取决于小枪使用的天线类型以及附近的地貌。通常天线的方向图，包括垂直天线和水平天线，会沿着垂直于行进中的波前电波路径来给出各个方向的信号强度。天线及其方向图现在还不是我们要关心的，我们要关心的是射频信号通过电离层的路径，以及它们通过或接近电离层区域时如何受到影响。

“小枪”需要懂得电离层的折射取决于射频信号的再发射，这由组成电离层的电子来完成。简而言之，天线中的振荡或电子加速造成“小枪”的天线发射出电波。当电波向外扩张并遇到电离层中的电子时，这些电子会跟随电波中相应的电场E以同样的频率运动。和“小枪”天线中的电子一样，这些电子由于自身的振荡运动，也会发射出电波。一言以蔽之，电离层中的电子将路过的电波再次发射出来，形成一个行进着的波前，其方向取决于电子的空间分布。如果电离层中的自由电子浓度不随高度而变化，那就没有折射，也就是说，电波波前的路径不会发生弯曲和改变。这有一个光学上的同等效果，即在通过一个具有常量折射指数的透明物质时，光线是直线前进的。在电离层的例子中，电子浓度随高度而增加，除非电波信号的频率太高了，否则电波会被连续地（但不是常量地）折射而到达地面。

值得一提的是，上述表述在电波路径通过电离层时，无论是上升还是下降都适用，是电子密度随着离地面的高度而增加这一事实造成的结果。描述这一现象的另一种大致的说法是，电波总是从具有较高电子浓度的区域弯曲并离开。这在光学等效上则正好相反，光线总是朝着具有较高折射指数的区域弯曲过去。

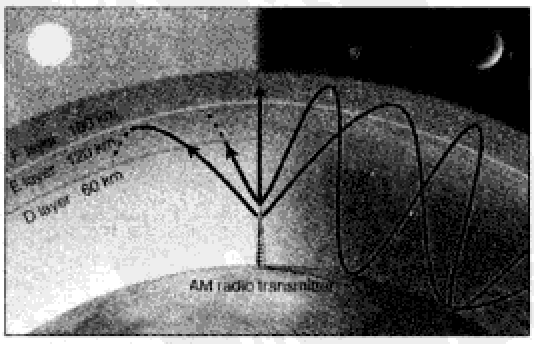
“小枪”需要懂得电离层的折射取决于射频信号的再发射，这由组成电离层的电子来完成。简而言之，天线中的振荡或电子加速造成“小枪”的天线发射出电波。

回到电离层，“小枪”有足够的经验，知道跳跃并不总是一样的，比如说白天和晚上或每年的不同时间里，甚至在一个太阳周期里都不一样。

我们来看看电子浓度的垂直剖面。图1显示了两个这样的剖面，一个为太阳周期高峰期白天的，另一个则是低谷期的。对“小枪”来说，重要的是各个区域的高度——从低于100km到高于300km，分别是D-、E-、F1和F2层以及各个电子浓度数值的幅度，从图1所示的D层每立方厘米1000个左右的电子，到处于F层峰值处每立方厘米好几百万个的电子。

这些剖面适用于中纬度白天的情况。在晚上，F1层和F2层会合并在一起，E层浓度下降，而D层消失。在极地和赤道区域有不同的剖面，但“小枪”暂时不用为此操心。看着这些剖面，也许可以说，“小枪”主要是对F层峰值处的跳跃有些经验。这是因为“小枪”很谨慎，使用了不会穿越F层峰值处的工作频率，其结果是，“小枪”的电波跳跃距离取决于电波的辐射角度，以及所涉及的最高电离层区域的高度。

但是你无法控制所有从天线辐射出去的电波，所以有一些从“小枪”的天线



电离层各区域分布图

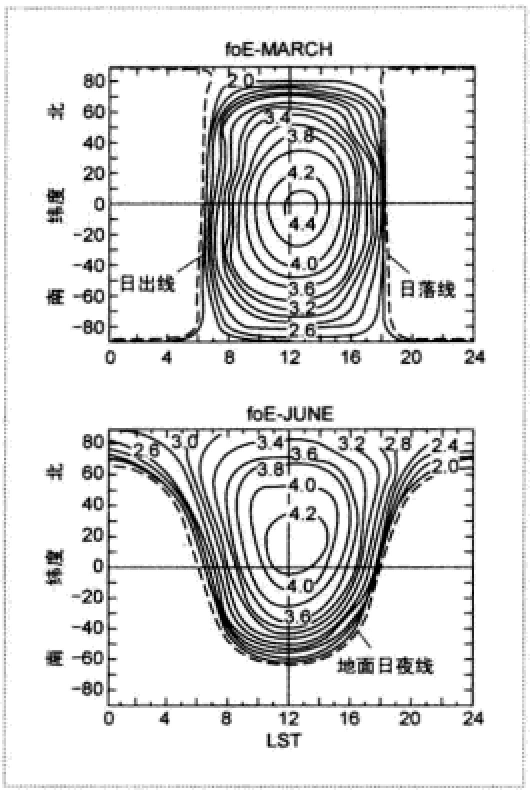


图2 f_{oFE}图（上图为春分时，下图为夏至时）

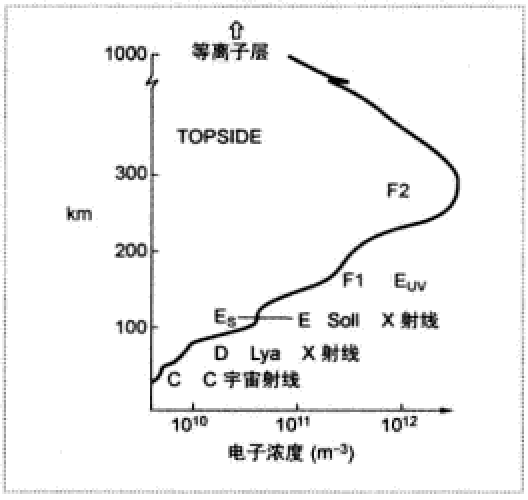


图3 中纬度白天条件下的电离层结构

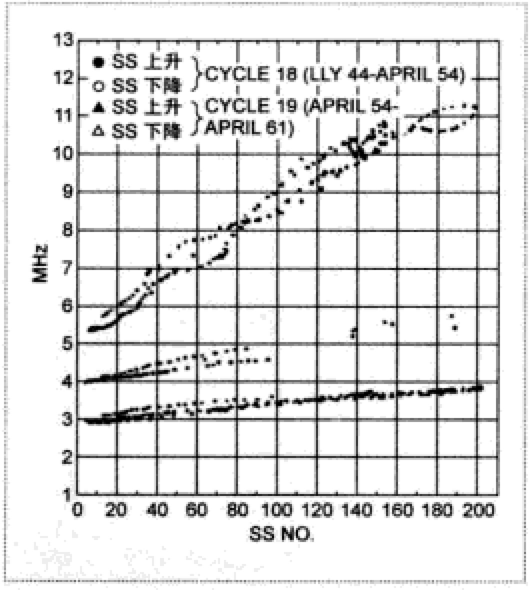


图4 中纬度正午条件下f_{oFE}、f_{oF1}、f_{oF2}随着太阳黑子数而变化的情况

发出来的高角度电波可能会穿越F层峰值处，并跑到了电离层的最高处。这就带来了临界频率的概念，即用电波垂直入射进行探查时，电离层能挡回来的最高频率。这种技巧，称为电离层探测，用于探索电离层的主要特征，即各个电离层及其临界频率，例如f_{oE}、f_{oF1}和f_{oF2}。

在这方面，理论显示，如果电波垂直入射到浓度为每立方米N个电子的区域，从这个高度作为回声返回的最高频率f_c（单位为MHz），可用下列方程式给出：

f_c=(9E-6) × SQRT(N)

以此作为参照，电离层探测者们这样来探测头顶的电子浓度，即把探测仪的电波脉冲导向垂直向上，同时以0.5～20MHz的频率进行扫描。回声所花费的飞行时间显示在一个示波器的Y轴上，而X轴显示对应的瞬时频率。当超过一个临界频率时，例如E层的，电波穿过该层去到下一层，则显示为回声返回的时间突然有一个增加量，这是因为电波去到了更高的高度。

随着该项技术的发展，电离层的各个层被确立了，并伴随着各个临界频率和高度的代表性数值。举例来说，E层在白天存在，且临界频率f_{oFE}的范围为0.5~4.5MHz，取决于本地的时间和纬度。而F1层白天也存在，其临界频率f_{oF1}也相似地在0.5~6MHz的范围内。F2层对“小枪”的DXing更为重要，但它的临界频率变化相当大，且对于太阳照射程度并没有显示出任何的简单关系。

随着探测技术的完善，临界频率的地理定位得到了不断扩展，以便在全球范围内查明，太阳照射在每天的时间和季节里，是如何影响电离层的。如前所述，E层在白天存在。图2显示了E层的临界频率f_{oFE}如何随纬度以及本地时间而变化。图2中最上面部分为春分/秋分，下面部分为夏至，这时的日下点位于北纬23.5°。可以看出，f_{oFE}在明暗分界线以外变成了很小的数值，明暗分界线将太阳照亮的区域和处于黑暗中的区域分隔开来。

研究电离图可以获得电离层的临界频率的信息。然而，高度信息却显得比较复杂，因为找到电波脉冲返回处的真实离地高度取决于对电子浓度剖面的认识。尽管如此，电离层的虚拟高度可以通过计算来获得，即计算一个脉冲以真空中的光速行进而回到地面的距离，减半后就是脉冲所到达的高度。当从电离层剖面做出实际的电波路径时，这些区别会变得更明显。

这为我们带来了一个更加详细的电离层结构表示法，如图3所示。这样的电离层剖面由下列二者结合演化而来：一为由临界频率数据而派生出来的电子浓度，一为从研究电离图所获得的峰值或突起处的高度。特别重要的是，这些数据是使用线性的方法而得来的。因此，没有不连续之处以及电子浓度的突然改变，这便于我们跟踪电波通过电离层的路径，而不会有任何异常的磕磕绊绊或路径方向的突然偏离。

早前提到过，电离层跳跃并不总是一样的，有几个理由会造成变化。现在，我们已经看过电离层剖面的大特写了，每次跳跃会变化的原因也就清楚了，就是临界频率的变化，甚至电离层的高度也在变化，例如F层的峰值处。在一个太阳活动的周期内，太阳活动的变化也是其中一个原因，图4显示了正午时分的f_{oFE}、f_{oF1}、f_{oF2}是如何随着太阳黑子数而变化的。我们用11MHz作为太阳黑子数为180时f_{oF2}的取值，用6MHz作为太阳黑子数为20时f_{oF2}的取值，利用之前给出的与临界频率和电子浓度相关的方程式，可显示出这两个极端情况下的电子浓度相差3.4倍。

当我们跟踪穿过电离层的电波路径时，这两个极端情况下的电波跳跃距离会有很大的不同。但是这很抽象，“小枪”需要知道一些更实际的东西，比如说太阳黑子数是什么，以及在一个太阳活动周期内这个数值是如何变化的。所以，下一篇文章，我们将了解“小枪”用什么方法来获取太阳数据。

如何检测和使用电磁继电器

◎张晓东

如何检测

本文先以MF50型指针式万用表为例，介绍在业余条件下快速检测电磁继电器性能好坏和有关参数的具体方法：

1．检测线圈好坏。按照图1（a）所示，将万用表拨至“R×10Ω”或“R×100Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性接电磁继电器线圈的两个接线端。如果万用表指针读数在几十欧至数千欧之间（多在100Ω～2kΩ），说明线圈正常。若万用表指针不动（线圈电阻为∞），则说明线圈开路；若线圈电阻小于正常值或为0Ω，则说明线圈存在短路故障。

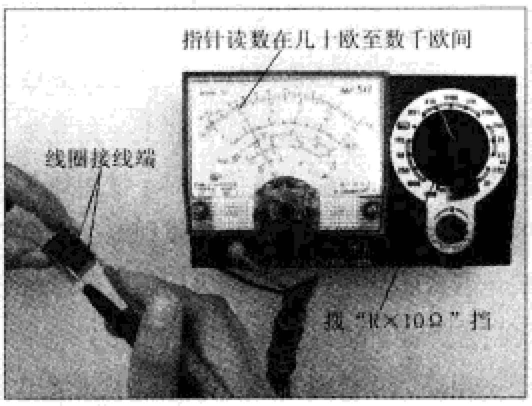
2．检测触点好坏。将万用表拨至“R×1Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性，按照图1（b）所示测量常闭触点两接线端（即常闭触点引脚与公共动触点引脚）之间的电阻，正常时万用表指针读数应为0Ω。若阻值大于0Ω或为∞，则说明常闭触点已氧化或开路。再按照图1（c）所示测量常开触点两接线端（即常开触点引脚与公共动触点引脚）之间的电阻，正常时万用表指针应不动（电阻读数为∞）。若常开触点阻值为0Ω，则说明常开触点短路。

这种触点检测法所反映的只是静态时触点的好坏，动态时的情况还不能反映出来。为此，还应该按照图1（d）所示，给被测电磁继电器的线圈接上等于其额定工作电压的电源（直流电磁继电器接干电池组或可调直流稳压电源，交流电磁继电器应接交流电源），以检测通电线圈控制触点吸合是否正常。若常闭触点接线端之间的电阻值在线圈通电后由原来的0Ω变为∞，而常开触点接线端之间的电阻由∞变为0Ω，则说明触点性能良好。若测得阻值跟线圈不通电时一样（即万用表指针无反应），则说明有可能是被测电磁继电器的线圈因局部短路而导致产生的吸合力不够，或者内部触点切换部件已经损坏。

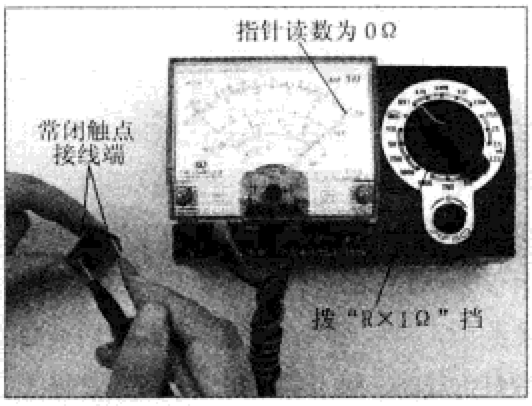
3．测定工作参数。在图1（a）中，用万用表（注意欧姆挡调零）所测量出的电磁继电器线圈的正常直流电阻值，即为被测电磁继电器的一项主要参数——线圈电阻。一般来说，电磁继电器线圈的额定工作电压越高，其线圈电阻也越大。将电磁继电器的额定工作电压除以线圈电阻，就得到线圈的额定工作电流。

对于不清楚吸合电压和释放电压的电磁继电器，可选一台0～30V的连续可调式直流稳压电源，配合万用表进行测量。具体方法：按照图2给出的接线图连接好万用表和稳压电源（如稳压电源本身带有比较准确的输出电压表或LED数码显示表，则可不用再外接万用表），从低到高缓慢调节稳压电源的输出电压，当听到电磁继电器内部衔铁（动铁芯）“嗒”的一声吸合时，马上停止调节电压，读出万用表指针所示的电压读数，即为被测电磁继电器的吸合电压；然后，再反方向缓慢调小稳压电源的输出电压，当听到“嗒”的一声衔铁释放的声音时，读出万用表指针所示的电压读数，即为被测电磁继电器的释放电压。用测得的吸合电压乘上1.3～1.5，就可估测出电磁继电器的额定工作电压。

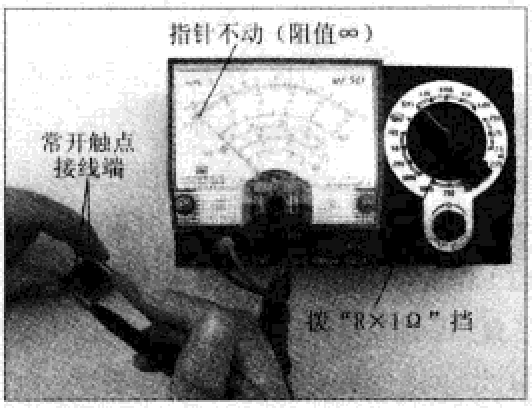
如果用测得的吸合电压和释放电压分别去除以线圈电阻，就得到相应的吸合电



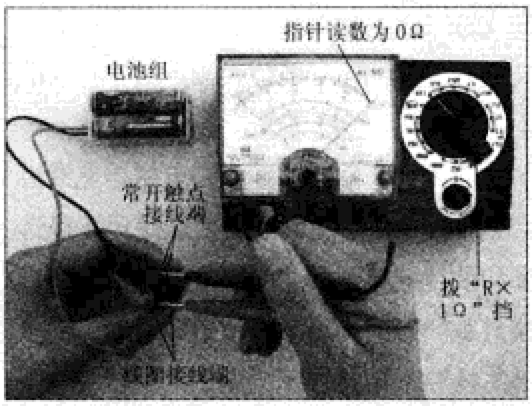
(a) 检测线圈



(b) 检测常闭触点



(c) 检测常开触点



(d) 检测吸合性能

图1 电磁继电器的检测

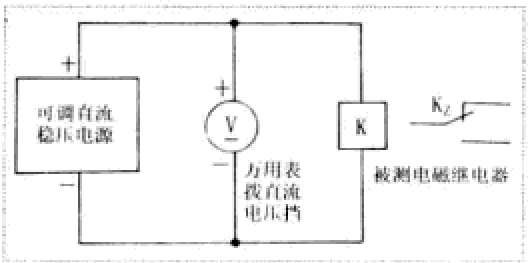


图2 测定参数的接线图

流和释放电流。用吸合电流再乘以1.5，就得到大致的额定工作电流。当然，也可以将万用表拨至“直流250mA”电流挡，直接串联到图2的线圈供电回路中，跟上面测电压时的操作步骤一样，当听到电磁继电器内部衔铁“嗒”的一声吸合时，万用表指针读数即为被测电磁继电器的吸合电流，当听到“嗒”的一声衔铁释放的声音时，万用表指针读数即为被测电磁继电器的释放电流。

使用常识

电子爱好者在选择和使用电磁继电器时，掌握以下最基本的常识是非常有必要的。

选择和使用电磁继电器时，应根据电路的具体情况和要求，着重考虑4方面的因素：

一是线圈的规格。要根据电路中控制电磁继电器线圈的电源电压大小（注意，必须是能够有效加在线圈两端的电压）来决定所选电磁继电器线圈的额定工作电压，要求两者尽量保持一致。切忌实际工作电压超过线圈额定工作电压1.5倍，否则会使线圈过发热，严重时会烧毁线圈。但实际工作电压也不能小于线圈的额定工作电压，否则不能保证触点的可靠动作。如果实际工作电压低于产品的吸合电压，则触点便无法正常通断。

二是触点的负荷能力。要求触点负荷所给出的标称电压和电流值，均不得低于所控电路或负载的工作电压和电流值。如果所控电路的电压、电流超过触点所能承受的允许值，在触点断开时会产生较大火花，缩短触点的寿命，甚至“烧死”触点。

三是触点组的形式和数量。要根据电路中需要电磁继电器所切换电路或负载的数目，来决定触点组的数目；要根据所切换电路或负载的状态要求，来决定触点组的形式——是常闭触点、还是常开触点或转换触点。

四是体积大小。如果在设备中有足够的地位可以安装、有较大的功率可以驱动线圈，在对重量又没有特殊的要求时，可选用一般的小型电磁继电器；若驱动线圈的功率较小，并且设备又是便携式的，则可选用超小型或微型电磁继电器。

另外，要注意电路中控制电磁继电器线圈的电源是直流电还是交流电，以此来决定是选用相应的直流电磁继电器还是交流电磁继电器。还要根据所控电路对触点动作、释放时间等的特殊要求，选择不同动作速度的电磁继电器。

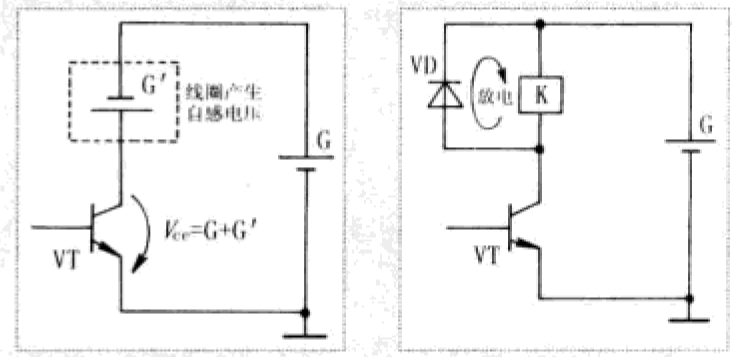
触点负荷（也称触点容量）是电磁继电器的一项重要参数，它通过额定切换电压与额定切换电流的乘积（电功率）来反映产品触点的负载能力。需要说明的是，厂家所提供的触点额定电流是对于电阻值不变的理想纯阻性负载而言的，在实际应用时必须考虑到被控负载的具体情况。例如，对于额定电压6.3V、电流0.5A的小电珠，其灯丝在正常发光的白炽状态时，电阻值为12.6Ω，但在不通电的冷却状态下时仅为2Ω左右，可见通电启动瞬间的电流约为正常照明时的6倍，因此在切换白炽灯负载时，触点额定电流一般应选择大于白炽灯额定工作电流的6倍。当切换容性或感性（电动机）负载时，触点额定电流应根据具体情况取负载额定工作电流的3~5倍。

国内外长期实践证明，电磁继电器近70%的故障发生在触点上，这足见正确选择和使用继电器触点的重要性。当触点切换负载的能力满足不了使用要求时，许多地方往往采用并联同一电磁继电器、同一形式触点的方法来增大触点的额定电流，但这不是最有效的办法。这是因为并联后的多个触点很难做到完全同步通断，往往造成先接触（后断开）的触点超负荷工作，并首先损坏，随后产生恶性循环，造成所有并联触点超负荷损坏。可见，增大触点切换负载能力的最好方法，就是采用中间继电器或接触器。

另外，那种认为“触点切换负荷小一定会比切换负荷大要可靠”的看法是不完全正确的。一般来说，电磁继电器切换负荷在额定电压下，控制电流大于100mA、小于额定电流75%最为合理。当电流小于100mA时，反而会使触点的积碳增加、可靠性下降，故100mA常被称作“试验电流”，成为国内外专业标准对电磁继电器生产厂工艺条件和水平考核的一项内容。由于普通电磁继电器不具备低电平切换能力，所以用于切换50mV、50μA以下负荷的特殊电磁继电器，需要用户直接从生产厂家专门订货。

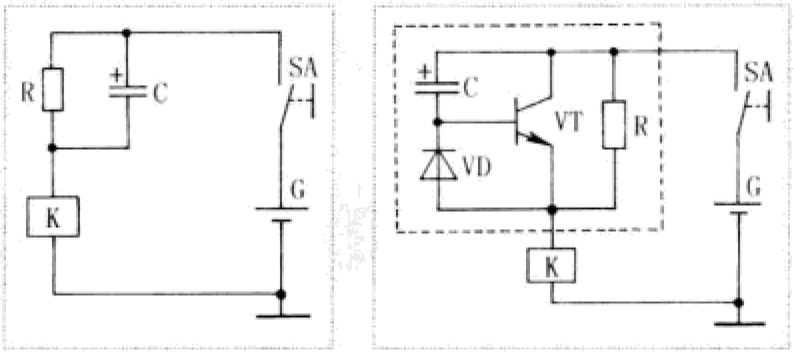
电磁继电器的触点在切断电流的一瞬间会产生火花（电弧），容易将触点烧坏，使接触电阻加大。尤其是在断开电感性负载（比如直流电机）时，电感会产生较高的自感电压，更容易造成触点的打火烧蚀，还会产生高频干扰。对此，最简单的解决办法是在触点两端并联上一只高频性能良好的小容量电容器。对于使用日久的非密封电磁继电器，如果发现触点上有氧化层或碳化电蚀现象，可用超细砂纸轻轻打磨光亮，仍可继续使用。

用晶体三极管开关电路驱动电磁继电器的电路应用非常普遍。当晶体三极管由饱和导通转为截止时，流经电磁继电器线圈的电流将迅速减小，这时线圈两端会产生图3（a）所示的自感电压G'，其大小取决于线圈匝数及断电速度（匝数越多，断电越快，自感电压越大），其极性方向与工作电源G相同。该自感电压与电源电压叠加后加在晶体三极管VT的集电极和发射极之间，很容易把晶体三极管击穿。为此，在选择晶体三极管VT时，要求其集电极—发射极击穿电压$V_{(BR)ceo}$（或$V_{(BU)ceo}$）应



（a）自感电压的形成　（b）并联保护二极管

图3 消除自感电压危害的方法



（a）方法之一　（b）方法之二

图4 减小电磁继电器功耗的电路

大于电源电压2倍以上。同时，可按照图3（b）所示，在电磁继电器线圈的两端并联上一只限压保护二极管VD，使自感电压产生的电流通过VD自行泄放掉，即可将线圈的自感电压钳位于VD的正向导通电压（硅管约0.7V，锗管约0.2V），从而保护晶体三极管VT不被击穿。

多个电磁继电器的线圈并联供电时，断电瞬间线圈产生自感电压大（即电感大）的电磁继电器，会向线圈产生自感电压小的电磁继电器放电，导致其触点释放时间延长。因此，一般不提倡将电磁继电器的线圈并联起来供电，最好将每个电磁继电器分别进行控制，以防止直接并联线圈所产生的相互影响。

不同线圈电阻和功耗的电磁继电器不要串联起来供电，否则串联回路中要求线圈工作电流大的电磁继电器不能可靠工作。只有同型号、同规格的电磁继电器才可以串联起来供电，但线圈的自感电压会成倍提高，应注意加以抑制。

要让电磁继电器可靠吸合，必须要有较大的电流流过其线圈才行。而一旦吸合之后，只需较小的电流通过线圈，就可维持吸合状态而不释放。利用电磁继电器的这个特点，只要采取一些电路改进方法，就可以实现电磁继电器的节能降耗。例如，按照图4（a）所示，在电磁继电器K的线圈供电回路中串接RC电路，利用电容器C的充电电流（包括流过电阻器R的电流）给K线圈提供较大的吸动电流，利用R的限流作用可将线圈的维持电流降至额定电流的1/3左右。R既是限流电阻器，又是C的放电电阻，其额定功率要满足电路要求，阻值一般可按K线圈电阻的1～3倍来选择，C可选100～1000μF的电解电容器。如果按照图4（b）虚线框内所示，采用晶体三极管VT放大电容器C的充电电流，则不仅效果更好，而且还可降低C的容量，使其体积得以缩小。C可选用体积较小的几微法至数十微法的电解电容器，R的选取与图4（a）一样，VT可用普通小功率或中功率晶体三极管（视电磁继电器工作电流大小选定），要求电流放大系数$\beta \geqslant 100$，VD选用普通的硅晶体二极管即可，它和R构成C的放电回路。

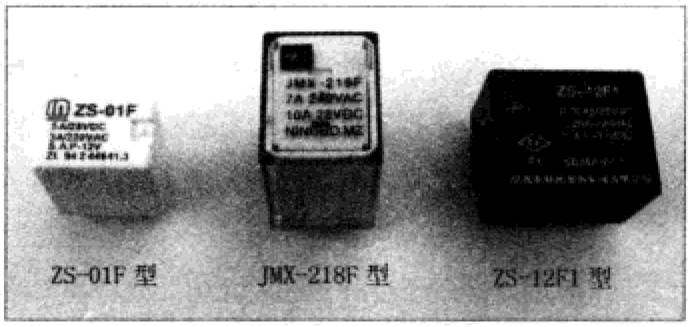


图5 几种国产脉冲驱动双稳态电磁继电器

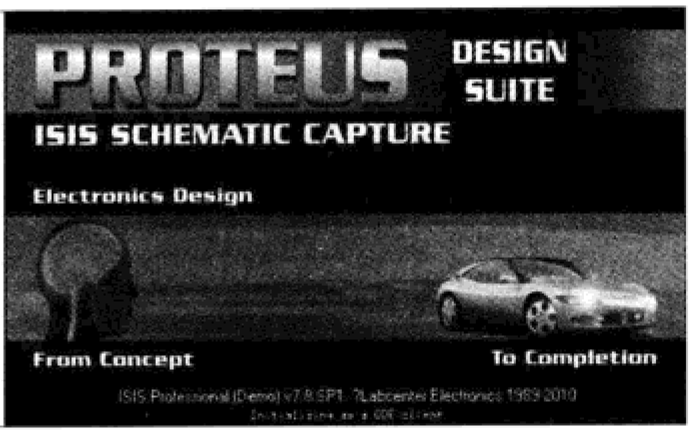
无论采用哪一种方法，通过电磁继电器线圈的维持电流均可用公式：“*电源电压÷（R+线圈电阻）=电磁继电器维持电流*”来进行计算。

近年来，一种新型的不需要维持电流而能保持触点“锁定”的脉冲驱动双稳态电磁继电器开始得到普及应用。这种产品的最大特点是采用脉冲电压驱动、静态不耗电、机械触点能够记忆锁存、具有双稳态输出、控制功率一般都比较大，可广泛用于过载过流保护、电源切换、遥控开关等设备中。图5所示是几种国产脉冲驱动双稳态电磁继电器的外形图，它们在技术上既保留了普通电磁继电器所具有的隔离性能好、抗干扰及过载能力强、可靠性高和寿命长等优点，又突出了不需维持电流而能保持触点“锁定”的新思路，充分体现了安全可靠和节能降耗两大特色。这类新型电磁继电器从驱动方法上来讲，可以称之为脉冲电磁继电器，从工作方式和输出状态上来讲，可以称为记忆自锁继电器或双稳态继电器。它们在实际应用中的突出表现是：线路简洁、功耗很小、工作稳定可靠、性价比高，实为新一代节能型电磁继电器。

电磁继电器应避免强振动、强冲击，否则便不能维持其初始性能。特别是电磁继电器衔铁弹簧的松紧或弹性簧片的弹性强弱，与吸合（释放）电压（电流）及吸合时间有密切关系，在出厂前已经调好，使用时不宜任意拉紧或放松弹簧，也不要改变弹性簧片的形状，以免影响电磁继电器原有的特性。普通电磁继电器不宜在多灰尘、高湿度、强振动、强磁场、有易燃易爆或腐蚀性气体的场合使用，尤其是非密封的电磁继电器绝对禁止在易燃气体或易爆气体环境中使用，以避免触点产生的火花引发爆炸事故。

电子电路仿真和设计软件——Proteus简介

◎李文卿



自从第一次在《无线电》上发表了一篇《自己动手用AVR做智能车》的文章以后就与《无线电》结下了缘。后来应编辑之邀又写了电机驱动与控制的系列文章，没想到受到很多热心读者的支持与鼓励，这使我感到十分欣慰。所以在本期及以后二期，我将介绍三款很有用的电子电路辅助设计和仿真软件Proteus、Multisim、Labview。在计算机技术普遍应用的今天，电路的分析与设计方法也发生了重大的变化，借助计算的设计，建模，仿真分析可以节省大量的时间，同时设计参数配置得到最大优化，成功率大幅提高。发达国家使用电子EDA技术十分普遍，基本上从电路设计，到仿真分析，到生产制作都是借助计算机完成的。熟练使用这些软件，会使你的设计和测试工作事半功倍。

Proteus电路仿真软件是一款英国Labcenter Electronics公司推出的EDA工具软件，它不仅能够画电路原理图和PCB图，还能够进行各类型电路特别是数字电路的仿真，使用起来简单方便，仿真效果直观，十分适合初学者做辅助设计和电路知识的学习。Multisim电路仿真工具，是美国国家仪器（NI）公司推出的一款模拟/数字电路设计软件，以多种类的丰富的专业仿真分析使它拥有众多粉丝。Labview图形编程开发环境，也是由美国国家仪器（NI）公司研制开发的，是一个软件开发平台，以框图和控件形式构成整个程序，而且它的强项是做上位机界面软件，有着十分丰富的下位机接口驱动模块，能使你在很短时间内开发出来一套美观、稳定、专业的上位机系统。所谓工欲善其事，必先利其器，在以后的文章中我将以导入介绍和实例展示的形式带领大家熟悉和使用这些工具。接下来，我先来介绍Proteus的使用。

Proteus具有电路仿真，原理图和PCB设计等功能，但是最出名的还是它的仿真

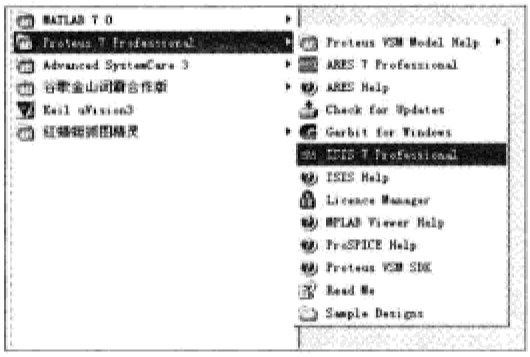


图1 ISIS 7 Professional

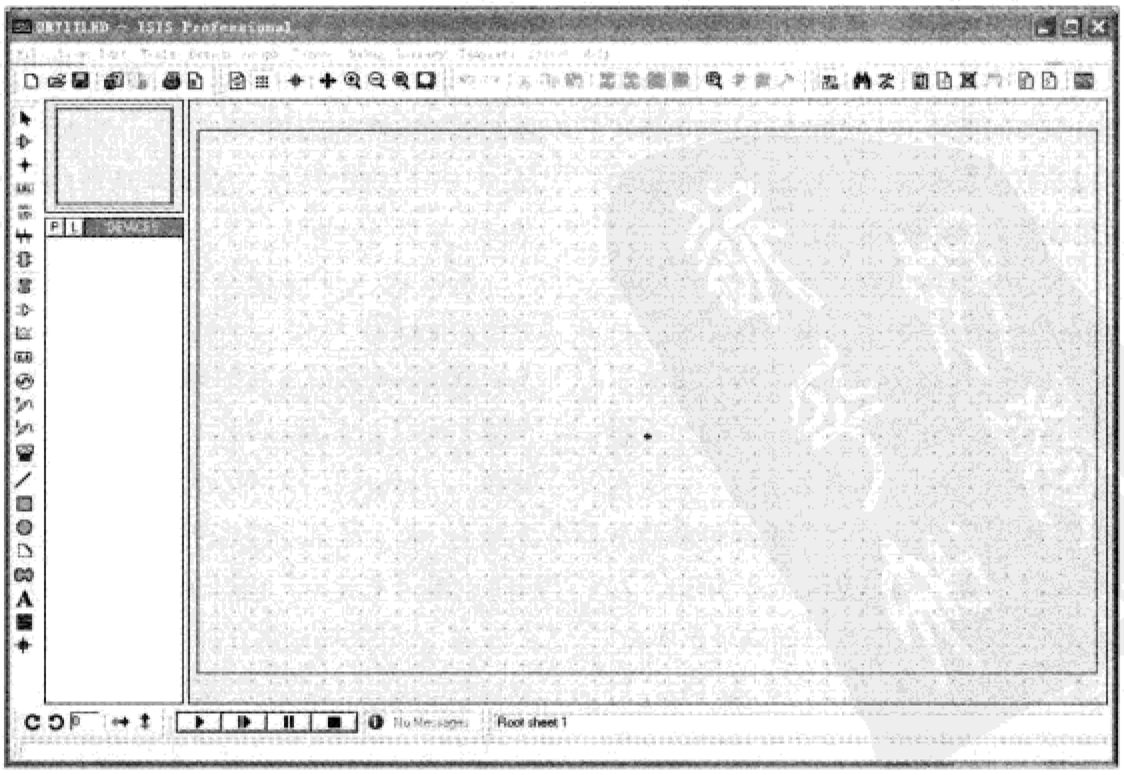


图2 ISIS窗口

功能。它的仿真功能简单易用，画好原理图后点仿真按钮就能进入仿真模式，而且效果直观，数字电路中高电平用红点表示，低电平用蓝点表示，整个电路的电平情况一目了然。LED、蜂鸣器、电机等元件的仿真效果和实际现象几乎一样。它有丰富的元件库，常用的模拟器件、数字IC、单片机、DSP等都有。还有多种多样的虚拟测量仪器，如虚拟示波器、信号源、万能表、逻辑分析仪、通信调试器等，这些功能使Proteus成为一种易用而功能强大的仿真工具，并且它也是大家公认的最好的单片机学习仿真软件，本文主要就是介绍Proteus的仿真功能块ISIS 7 Professional。

我现在用的版本是Proteus7.1，Labcenter Electronics官方网站显示最新推出的版本是Proteus7.8。现在正进行7.8的DEMO试用版活动，读者可以直接在Labcenter Electronics网站下载试用。这类软件都是向下兼容的，低版本的工程高版本软件都能打开，所以我就以较低版本来演示说明了。

软件介绍

Proteus的安装过程我就不多说了，跟其他软件安装差不多。安装好以后打开程序——Proteus 7 Professional找到ISIS 7 Professional，如图1所示。ISIS被称作“智能原理图设计”，它就是我们画原理图和电路仿真的窗口。打开ISIS后就能看到ISIS窗口了，如图2所示。

ISIS窗口主要由菜单栏、工具栏、模型选择工具栏、预览窗口、仿真工具栏、元件列表和画布组成。菜单栏有所有的工程操作和画图操作功能，不过大部分使用默认即可，有兴趣的话可以试着改动一下，看看有什么效果。工具栏中有创建和保存工程、打印、视图、查找、一键转PCB等功能，这些工具的用法大部分跟其他软件用法类似。在仿真中我们主要用到的工具是模型工具栏，包括选取元件、选

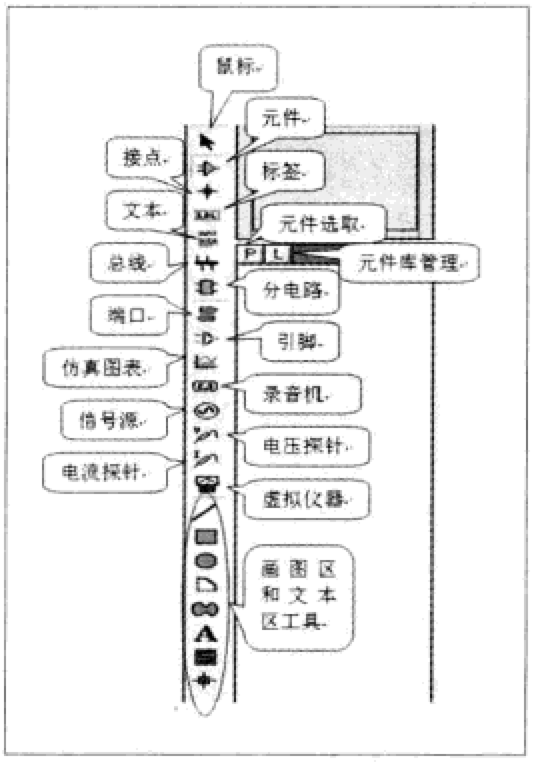


图3 模型选择工具栏

择电源，选取信号源，选择虚拟仪器等。下面就介绍一下模型选择工具栏，如图3所示。

“鼠标”的作用就是取消放置元件的功能，但能选中和编辑元件属性。“元件”按钮是选取元件的工具，选取元件时先点“元件”，再点“元件选取”按钮就能在元件库里面寻找需要的元器件了。“接点”按钮的作用是连接两条交叉的线路。“标签”的作用相当于Protel里的网络标号，相同的标签表示有电气连接，在后面的实例中会使用到。“文本”的作用就是在画布中添加文本。“总线”按钮是选择总线工具，点了它之后鼠标划线就变成总线模式了。“分电路”可以将部分电路作为子电路放在里面。“端口”工具里有电源、接地、输入、输出、IO接口、总线符号。“引脚”按钮的作用是绘制元件图时，添加元件的引脚，它也有多种类型。“仿真图表”中有模拟、数字、混合、频率特性、噪声分析等工具，这一块内容很多，大家都可以试着用一下。下面还有一个“录音机”的按钮，它是设计电路分割仿真时使用的。“信号源”工具中

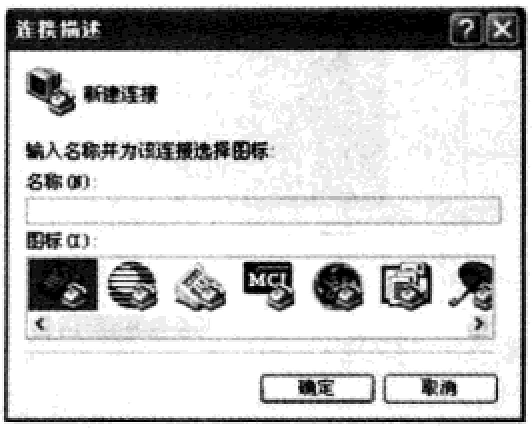


图4 超级终端连接

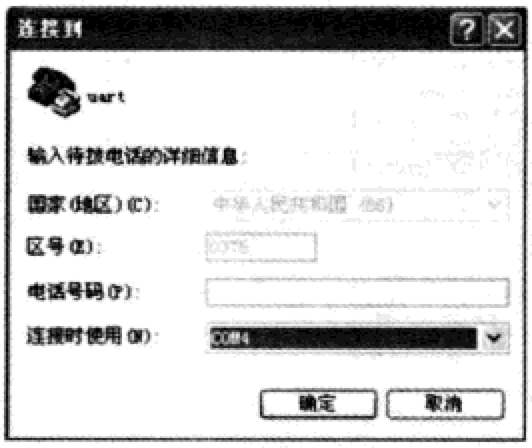


图5

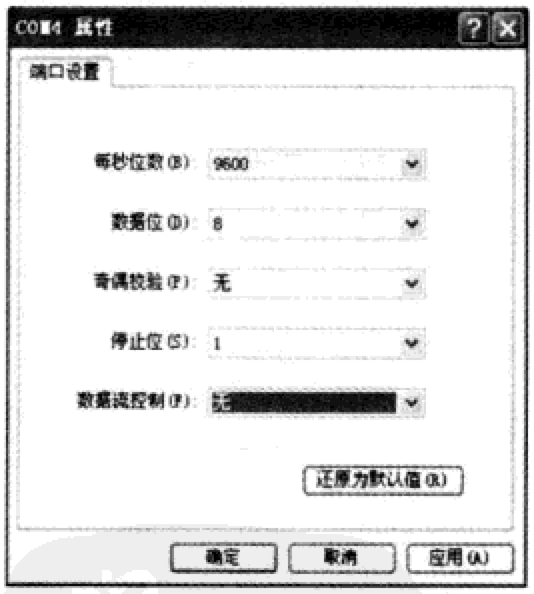


图6 串口属性

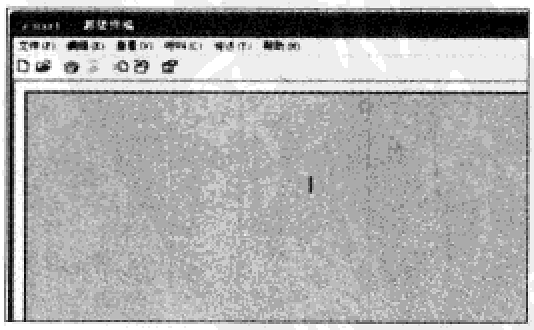


图7 超级终端创建完成后的界面

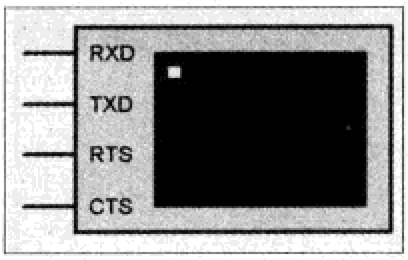


图8 虚拟终端

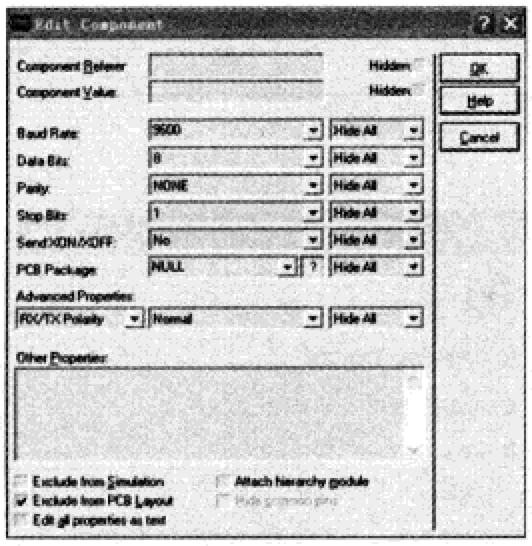


图9 虚拟终端属性

有很多信号类型，有直流信号、交流信号、三角波、噪声干扰信号等。下面的是“电压探针”、“电流探针”，把它们放在哪一点就能直接显示该点的电位或电流大小。“虚拟仪器”里面也有很多工具，例如示波器、信号发生器、逻辑分析仪、频率计、串行通信调试器等工具。最下面的是画图和文本区工具，你可以用来画图形、加注释等。

试验和仿真

这里以一个单片机和计算机串口通信的例子比较一下实物运行效果和Proteus仿真效果。系统硬件由上位机、数据线和下位机组成。软件方面上位机使用超级终端，下位机是C语言编写的单片机串口双工通信程序。要实现的功能是上位机和下位机建立连接实现通信和控制，下面是具体的操作过程。

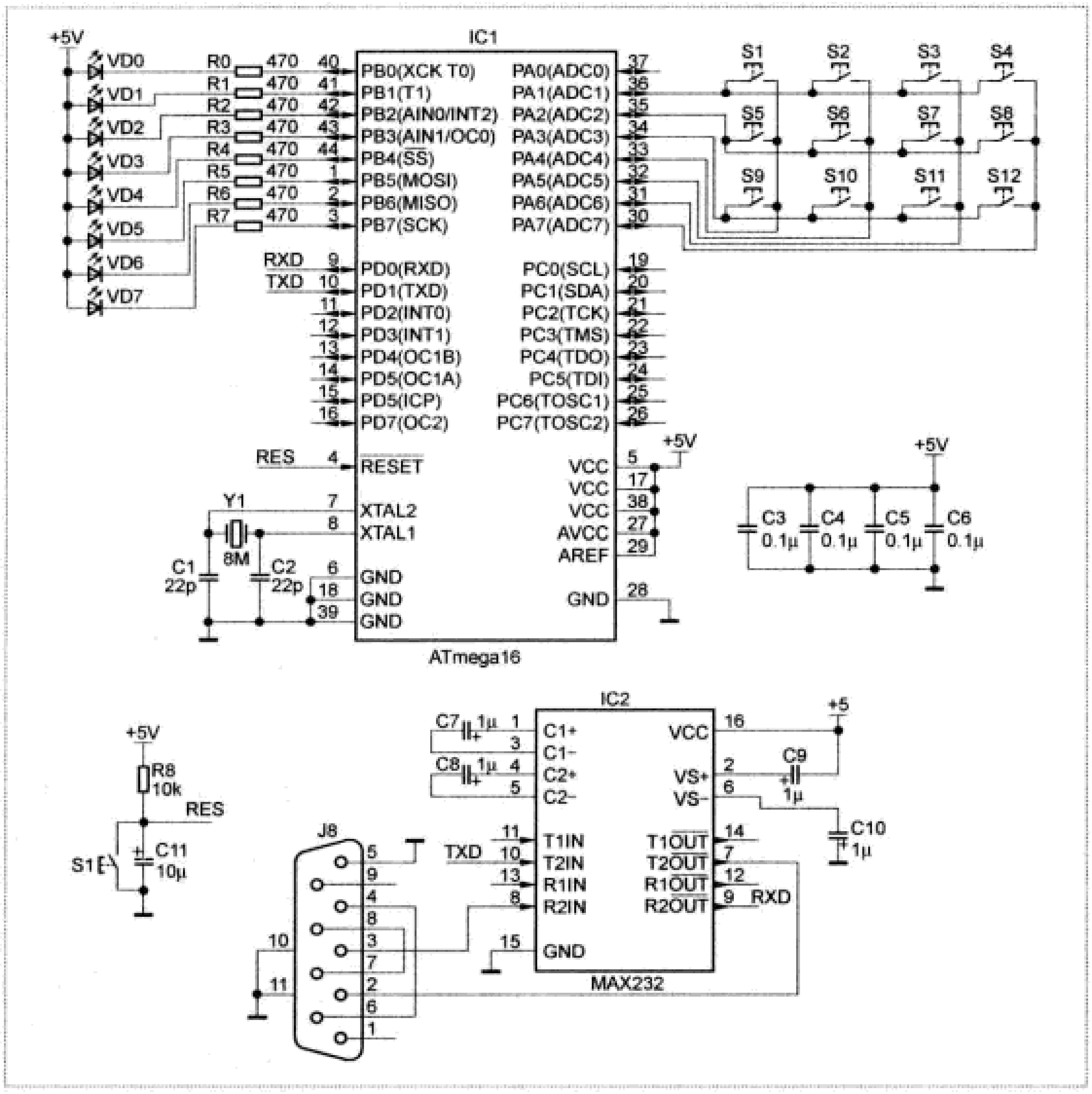


图10 下位机硬件电路图

创建超级终端

超级终端是计算机的一个输入/输出设备，它将用户输入的数据随时发向串口（也可以是网口），接收到从主机输入的数据时显示在窗口上。打开程序→附件→通信→超级终端，将弹出新建地区设置，输入你的区号和地区之后确定就进入新建超级链接窗口，如图4所示。选择一个自己喜欢的图标，输入自己要创建的名字，点确定。在连接到对话框里选择你即将使用的串口号(我使用的是扩展的COM4)，不过若计算机带串口的话，一般是COM1，如图5所示，然后就进入端口设置对话框，这里选择每秒位数（波特率）为9600，数据位8，奇偶校验为无，停止位为1，数据流控制为无，如图6所示，然后点击确定就完成了超级终端的创建，界面如图7所示。创建完成后保存文件到桌面，就会出现一个快捷方式，下次使用时直接点击快捷方式就打开了。

Proteus虚拟终端

Proteus中也有一个类似超级终端虚拟仪器，它的作用和超级终端的作用是一样的。打开Proteus的模型工具栏，在虚拟仪器工具中选择VIRTUAL TERMINAL工具，如图8所示。RXD为数据接收，TXD为数据发送，RTS和CTS为请求/清除发送信号，用于半双工收发，所以这里只用RXD，TXD。同样也要在串口属性里设置波特率，奇偶校验，停止位等，如图9所示。

硬件电路

电脑的串口（没有串口的可以用USB转串口线）和单片机串口建立起连接，就形成了一个简单的上位机和下位机通信系统。下位机IC1使用的是AVR的Atmega16单片机，串口电平转换芯片IC2用MAX232，PA1口~PA7口接3×4的矩阵

键盘，PB口接8个LED作指示，硬件电路如图10所示。

Proteus仿真电路

搭建Proteus仿真电路也很简单，只要在元件库中找到需要的元件，按原理图连起来就搞定了。在元件库中分别找到Atmega16单片机、键盘、电阻、LED和按键，这里不用电平转换芯片MAX232是因为Proteus虚拟终端默认是TTL电平的。把这些元件按原理图连成电路，如图11所示，仿真电路在“仿真”文件夹中，读者可以自己下载，或是自己搭建。

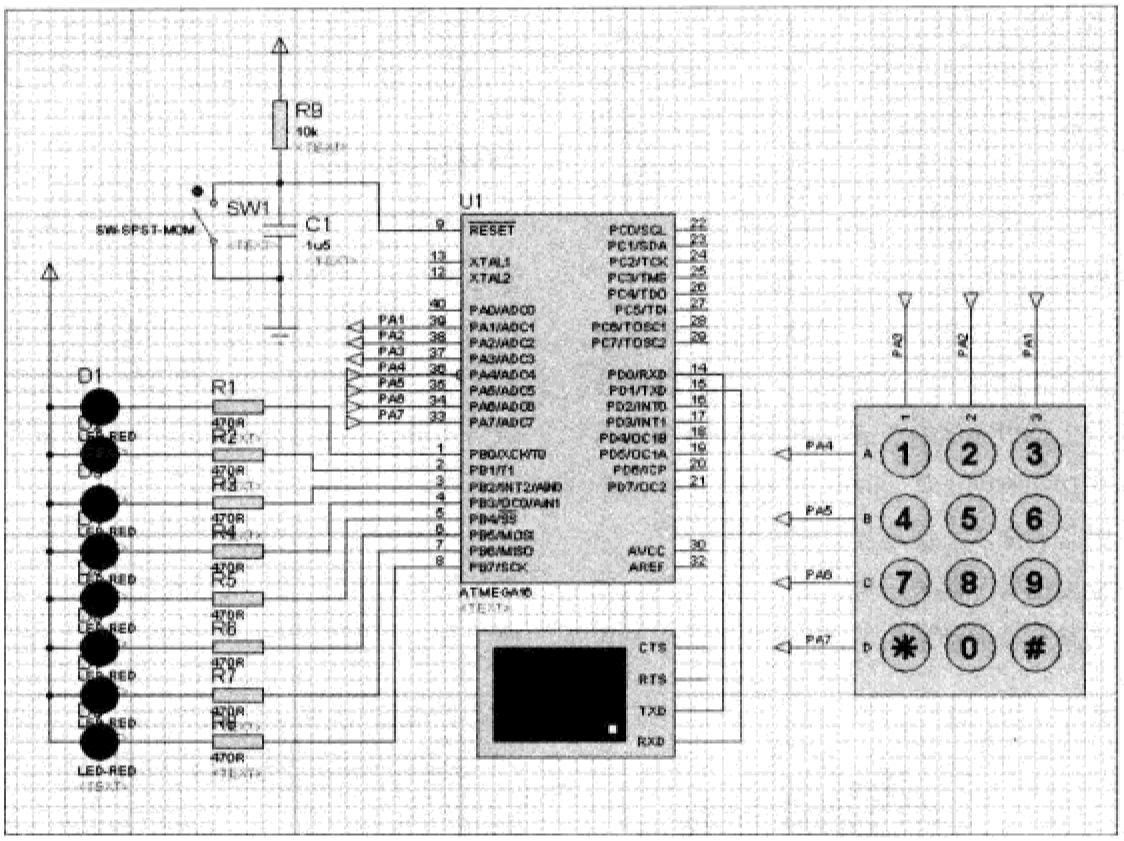


图11 仿真电路

下位机程序

系统要实现的功能有单片机上电后发送初始化信息到上位机，上位机终端显示“Welcome to radio，Init OK!”，这表明双方已经建立起了连接。按下单片机键盘按键S1~S12时超级终端上分别会显示“3，6，9，#，2，5，8，0，1，4，7，*”字符，这是单片机对电脑发送的数据和指令。当你用计算机键盘向超级终端里写入字符后超级终端会出现“Computer input: x” “Output: X”(x为输入字符)。这个现象实现的过程是你向超级终端写入字符时超级终端自动会把这个字符发送给下位机，下位机收到字符后发送消息“Computer input: x”回上位机，然后再把小写字母变成大写字母发送“Output: X”回上位机。如果你输入的字符是“N”或是“n”将打开PC控制下位机功能，这时你再向超级终端里写入字符的话，下位机会把输入字符的ASCⅡ码发送到PB口，用8个LED灯来显示。如果输入的字符是“O”或是“o”将退出PC控制下位机功能。这样就实现了上位机和下位机的通信和控制，如果配合更高级复杂的上位机软件，可以实现更丰富复杂的控制。程序的流程图如图12所示，分为主循环和中断程序两大部分，源程序请在《无线电》网站下载，工程名为Usart。

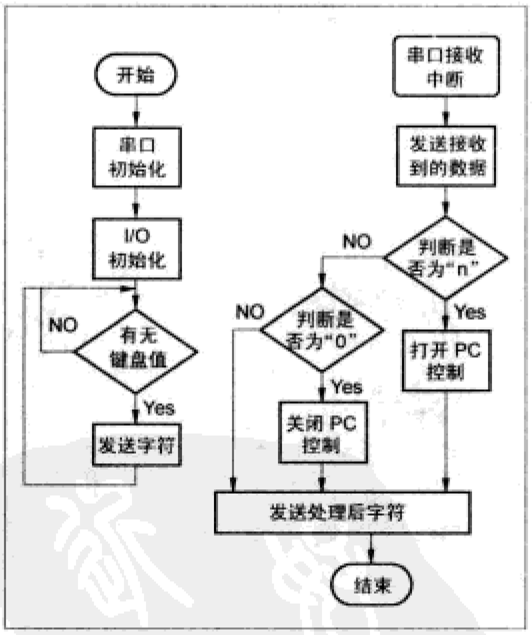


图12 程序流程图

实物运行和Proteus仿真

讲了这么多，是不是早就枯燥或迷惑了？别急，下面就开始实物的运行和Proteus仿真。首先是把单片机程序烧写到Atmega16单片机中，然后把下位机电路和电脑串口用串口线连起来，如图13所示，打开超级终端。这时就可以开始操作了，分别按下复位键，操作下位机键盘，输入超级终端字符，打开PC控制功能等，在超级终端和下位机LED上都会有显示如图14所示。

下面看看Proteus仿真情况。打开Proteus仿真文件，然后打开做好的仿真电路，往单片机里加载可执行文件。右键单击单片机，元件变成了红色，再单击左键，就进入了元器件属性界面，如图15所示。在属性栏里点开Program File的路径按钮，找到程序编译后的HEX文件，确定就行了。这时程序就已经加载到了单片机里，它和你下载到真实单片机的程序是一样的。

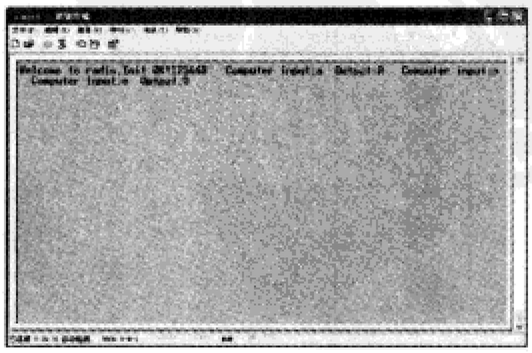


图13 超级终端仿真

加载程序后开始操作下位机键盘，

输入超级终端字符，打开PC控制这些功能，效果如图16所示。可以看到仿真现象和实际运行情况完全一致，甚至当波特率设置错误时仿真出的错误结果和实际运行的情况也一致，有兴趣的读者可以自己修改一下试试。

之所以做这样一个对比的例子是有感于我做过的一个项目。当时我要做一套跟上位机通信的系统，调试的时候发现有些功能时而正常，时而不正常，让人痛苦的是后来才发现是我的电脑串口坏了，只能发信号不能收信号。当时无论我怎么改电路和程序都解决不了，如果我可以先用Proteus进行仿真，最起码我知道程序是没问题的，排查起来更方便。

很有用的工具

在通信方面，Proteus不光有虚拟终端还有I²C和SPI串行通信调试器，这对于学习通信原理和故障诊断都是很有帮助的，你的通信电路不能正常工作，能用它进行仿真后就知道是软件的问题还是硬件的问题。

Proteus支持很多类型的单片机仿真，随着版本的升级，支持的类型还在不断丰富，不仅仅局限于8位机，而且增加了32位机和DSP等高端机的库文件。目前支持的主流单片机有8051、AVR、PIC、ARM7、摩托罗拉HC11系列等。只要有这些单片机程序的可执行文件，就能用Proteus进行仿真。此外，它还有一个专门为单片机准备的工具——Proteus VSM控制系统，可以对单片机进行源码仿真调试，同样有全速运行，单步执行，寄存器查看，设置断点等功能，对单片机学习和调试程序都是很有用的。

通过一个叫做vdmagdi.exe的驱动软件，Proteus还可以与Keil实现联调。驱动软件连接Proteus并设置为第三方调试工具，在Keil中设置外部虚拟调试的方法实现他们之间的联姻。这样使用51单片机的朋友就可以在Keil中调试，而在Proteus中看到执行过程，这恐怕也是51单片机最节约最方便的调试方法了。vdmagdi.exe可以在Labcenter Electronics的官方网站http://downloads.labcenter.co.uk/vdmagi.exe下载 。随着版本的升级，Proteus7.4以后的版本还支持和AVR Studio、IAR的联调，这样就大大增强了它的单片机仿真支持功能，虚拟电路搭建起来简单方便，仿真功能真实强大，可以作为大家学习中的一个不错的工具。

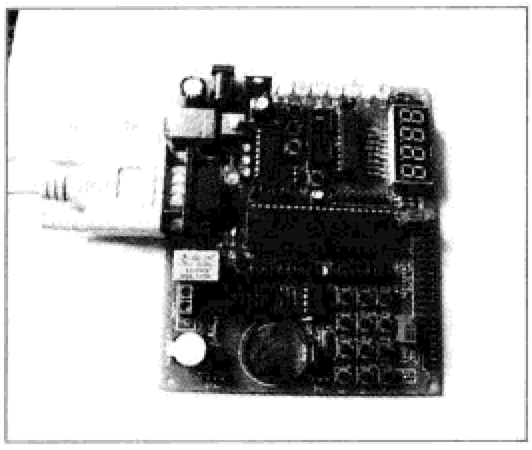


图14 下位机连接

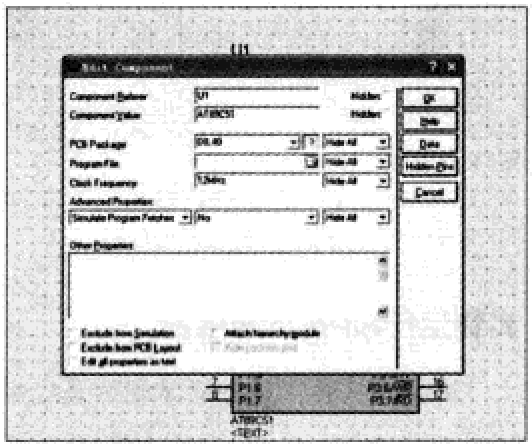


图15 程序加载

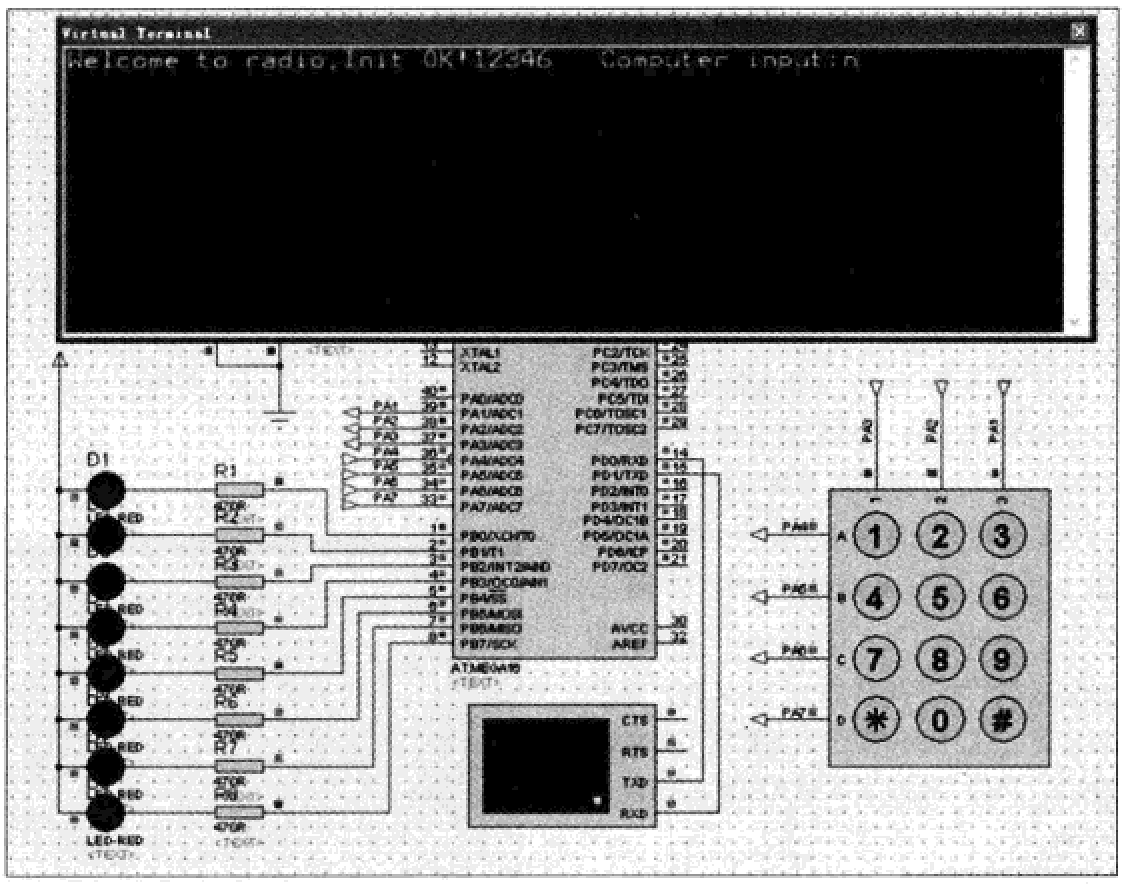


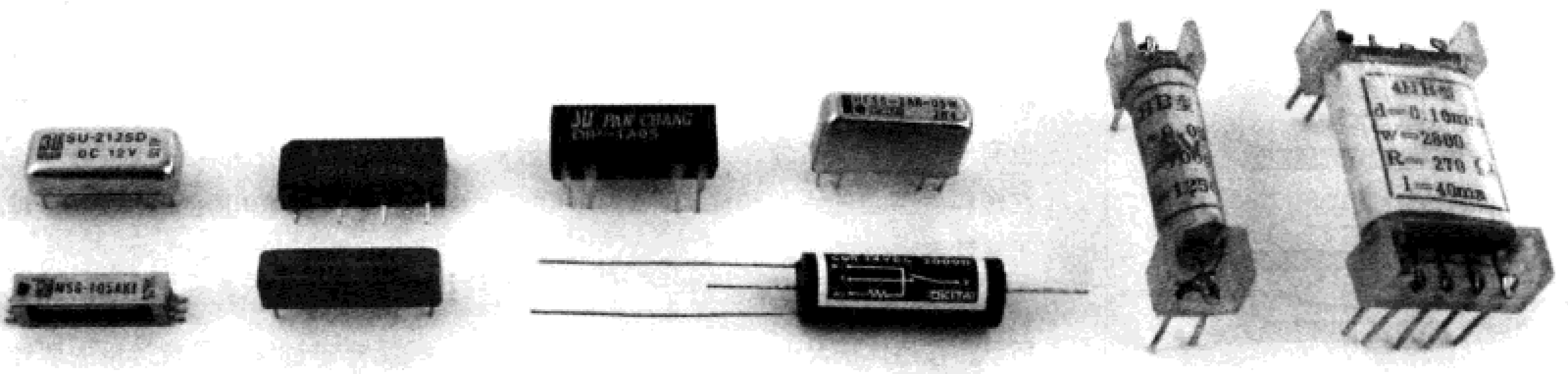
图16 Proteus仿真

结语

我在这里不是要做一个Proteus软件的使用说明，软件的功能还有很多，不可能在这么短的篇幅里让你学会并精通使用，再加上本人的水平和知识面也达不到能够透彻解析这款软件的程度。我只是向大家介绍这款优秀的工具软件，我在这里带着大家“浅入”，能不能“深出”就要看各位的兴趣和努力了。在这里推荐一本北京航空航天大学出版社出版的有关学习Proteus的书，由周润景和张丽娜编著的《基于PROTEUS的电路及单片机系统设计与仿真》。书中有功能模块的详细介绍，还有具体实例演示分析，是一本不错的参考书。

常用元器件的识别与使用（21）

◎张晓东



灵敏可靠的干簧继电器

干簧继电器是一种利用电流通过线圈产生的磁场直接磁化舌簧片式触点开关，并让其产生接通或断开动作的继电器。干簧继电器与电磁继电器比较，最大的特点是触点完全密封，由于它具有结构简单、体积小巧、动作速度快、灵敏度高、工作稳定、触点寿命长等优点，所以在各种微电子检测、自动控制、通信和遥控等领域得到了广泛应用。

干簧继电器与电子爱好者经常使用的“干簧管”密不可分。简单地说，把干簧管放入线圈中，就制成了干簧继电器。下面就向大家介绍常用干簧继电器的识别。

结构及原理

干簧继电器由干簧管（全称：干式舌簧开关管）和驱动线圈两大部分组成，其基本结构如图1所示。干簧管由2片（或3片）既导磁导电、又具有良好弹性的铁镍合金“舌”样簧片构成，舌簧片的触点部分通常镀有贵重金属(如金、铑、钯等)，以使其接通后具有良好的导电性能。由于包括触点在内的舌簧片被密封在充有氮气等惰性气体的玻璃管内，既有效防止了外界尘埃、有机蒸汽等对触点的污染和腐蚀，又大大减少了触点动作瞬间所产生的电火花对触点造成的氧化或碳化，所以可显著地提高工作可靠性。驱动线圈绕制在绝缘骨架上，通常将干簧管置入线圈的骨架中间，以利用线圈内磁场进行有效驱动；也有的产品是将干簧管紧靠在绕好的线圈旁边，利用线圈的外磁场进行驱动，并且为了增强驱动力还给线圈的骨架中间加上了铁芯。另外，同一干簧继电器的线圈骨架内，可以同时放入几个干簧管，从而制成多组触点同步动作的干簧继电器。

干簧继电器的触点形式取决于所用的干簧管。干簧管有常开（H）、常闭（D）与转换（Z）三种不同形式，其剖视图如图2所示。常开式干簧管的舌簧片分别固定在玻璃管的两端，它们在线圈（或磁铁）的作用下（参见图3），一端所产生的磁性恰好跟另一端相反，因此两触点依靠磁的“异性相吸”克服舌簧片的弹力而闭合；常闭式干簧管的舌簧片则固定在玻璃管的同一端，在外磁场的作用下两者所产生的磁极性相同，因此两触点依靠“同性相斥”克服舌簧片的弹力而断开；在常闭式舌簧片的基础上再加一常开的舌簧片，就构成了转换式的触点。实际上常闭式干簧管少有产品生产，厂家产品多见常开式和转换式两种。

干簧管的最大性能特点是：具有高可靠性、高安全性（绝缘电阻高达$10^{15}\Omega$）、高适应性（典型工作温度范围为-50～+150℃）和超长的寿命（触点动作寿命可达百万次至1亿次以上），其结构紧凑、体积微小（目前最小尺寸已达到ϕ2mm×11mm），优越的电性能（触点导通电阻≤50mΩ）和高速度反应，使其成为能直接用于晶体管电路或集成电路的一种特殊传感器或开关组件。由于干簧管具有这些独特的优点，所以用它制造的干簧继电器也得到了非常广泛的应用，特

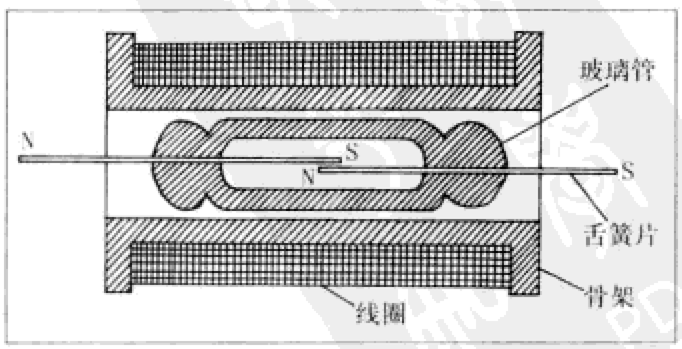


图1 干簧继电器的基本结构

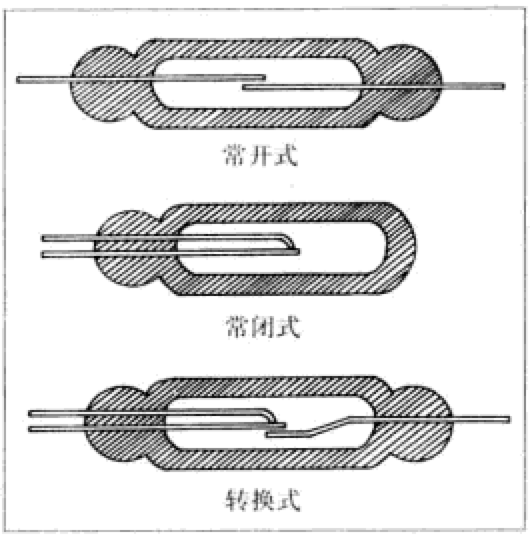


图2 干簧管的触点种类

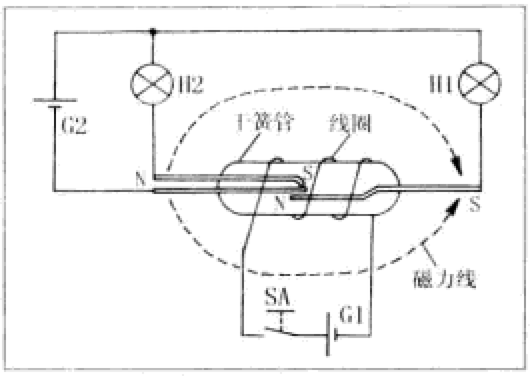


图3 干簧继电器的实验电路

别是在某些要求质量、可靠性及安全至上的苛刻应用场合中成为首选产品。

干簧继电器的工作原理可通过图3所示的实验电路来进一步说明：当开关SA闭合时，干簧继电器处于“吸合”状态。此时，干簧继电器的线圈中有电流流过，线圈产生的磁场使密封在干簧管内的铁质舌簧片磁化，其中左、右两个常开舌簧片在磁力作用下变为接通状态，左边两个常闭舌簧片在磁力作用下变为分离状态，即常开触点闭合、常闭触点断开，结果灯泡H1亮、H2熄灭。当开关SA断开时，干簧继电器恢复“释放”状态。此时，干簧继电器的线圈中无电流流过，线圈不再产生磁场，干簧管内部的舌簧片依靠自身弹力自动恢复到原来的位置，即常开触点断开、常闭触点闭合，于是，灯泡H1熄灭、H2亮。可见，干簧继电器是一种利用线圈电磁力来直接控制干簧管内部触点开关通、断的继电器。

外形和种类

干簧继电器的种类很多，它们大多数都封装在塑料外壳或金属防磁罩内，但也有一些产品没有外壳，其外观可见绕在塑料骨架上的线圈和置入骨架中间的干簧管等。

常用干簧继电器的外形及分类如图4所示。按照体积大小不同，可分为如图4（a）所示的微型和小型两大类。按照封装方式不同，可分为图4（b）所示的全密封式和半密封式两大类。一般微型产品都是全密封式，被设计制造成能够直接在印制电路板上焊接（如标准单列封装SIP和双列封装DIP）、并符合线路板整体清洗要求的产品；小型产品多数为半密封式，其干簧管密封、线圈不密封。但无论是哪一种产品，干簧管的触点均是密封的。按照触点形式的不同，可分为常开触点干簧继电器、常闭触点干簧继电器和转换触点干簧继电器。按照触点数量的不同，可分为如图4（c）所示的单组触点干簧继电器和多组（一般2~4组）触点干簧继电器。多组触点干簧继电器既可以包括多组相同形式的触点，也可以包括多组不同形式的触点，它们可同时动作。

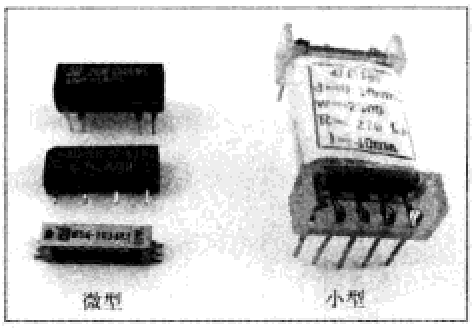
主要参数

干簧继电器的主要产品技术参数有额定工作电压（电流）、线圈电阻、吸合电压（电流）、释放电压（电流）、触点负荷（触点容量）等，其含义跟电磁继电器相同，这里不再赘述。

有些厂家的干簧继电器采用“吸合安匝”、“释放安匝”来表示触点动作的特性，其具体含义是：干簧继电器工作时，线圈匝数与线圈中通过电流大小的乘积被称为安匝，这是磁动势的单位，安匝数越大，线圈产生的磁感应强度越大，作用到干簧管的磁力也就越大。当通过线圈的电流大到一定程度时，干簧管内的常开触点就会闭合。吸合安匝（也叫动作安匝）即指干簧管失去常态所需要的最小安匝数，而释放安匝是指能够使干簧管返回常态时的最小安匝数。显然，释放安匝要远小于吸合安匝。一般小型干簧管触点吸合所需要的磁动势为15~90安匝，吸合安匝越小，说明干簧继电器的动作灵敏度越高。

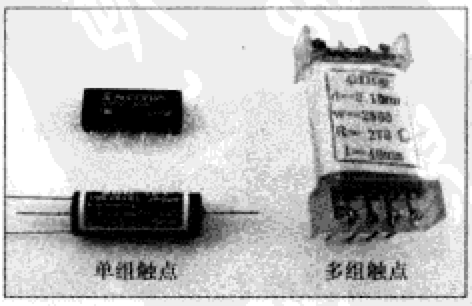
型号命名

国产干簧继电器最常用的型号命名一般由五部分组成，其格式和含义如图5所示。第一、二部分实际上为所用干簧管的型号，并且第二部分用数字代号表示干簧管的种类（包括外形、安匝、触点负荷等的不同），但通常主指干簧管的外形尺寸（玻璃壳直径×玻璃壳长度×总长度），即“2”为“$\phi 4\times 36\times 90$”，



（a）按体积大小区分

（b）按封装方式区分



（c）按触点数量区分

图4 干簧继电器的分类

附表 几种常用国产干簧继电器的性能参数

型号	线圈数据			额定电压或电流	吸合电流(mA)	释放电流(mA)	触点数据			装干簧管数量
	线径(mm)	直流电阻(Ω)	匝数				触点负荷	接触电阻	寿命(次)	
JAG-2-1HA	0.10	93±5%	2200	6V	≤44	≥9	24V×0.2A(直流)	0.07	10^7	1
JAG-2-1HB	0.07	370±5%	4200	12V	≤22	≥45				
JAG-2-1HC	0.05	1200±5%	7000	24V	≤13.5	≥3				
JAG-2-1ZA	0.10	93±5%	2200	6V	≤44	≥9	24V×0.1A(直流)	0.15	10^6	1
JAG-2-1ZB	0.07	370±5%	4200	12V	≤22	≥45				
JAG-2-1ZC	0.05	1200±5%	7000	24V	≤13.5	≥3				
JAG-4-2HA	0.09	200±10%	2600	32mA	≤16	≥3	12V×0.05A(直流)	0.15	10^6	2
JAG-4-2HB	0.07	520±10%	4300	20mA	≤10	≥1.8				
JAG-4-2HC	0.05	2000±10%	7300	12mA	≤6	≥1				
JAG-4-3HA	0.11	130±10%	2100	46mA	≤23	≥3.5	12V×0.05A(直流)	0.15	10^6	3
JAG-4-3HB	0.08	460±10%	3600	26mA	≤13	≥2				
JAG-4-3HC	0.05	2180±10%	7200	13mA	≤6.5	≥1				
JAG-4-4HA	0.13	90±10%	1600	60mA	≤30	≥4.5	12V×0.05A(直流)	0.15	10^6	4
JAG-4-4HB	0.10	270±10%	2800	40mA	≤20	≥2.8				
JAG-4-4HC	0.06	1180±10%	4800	20mA	≤10	≥1.6				
JAG-5-2H-12V JAG-5-2Z-12V	0.27	50±10%	2500	12V	≤130	≥35	最大电压300V(直流) 最大电流2A 最大功率200W	0.5	5×10^4	2
JAG-5-2H-27V JAG-5-2Z-27V	0.17	310±10%	6000	27V	≤55	≥14				

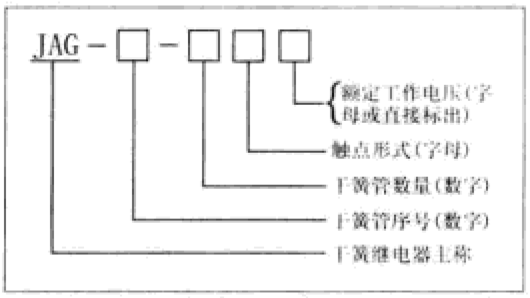
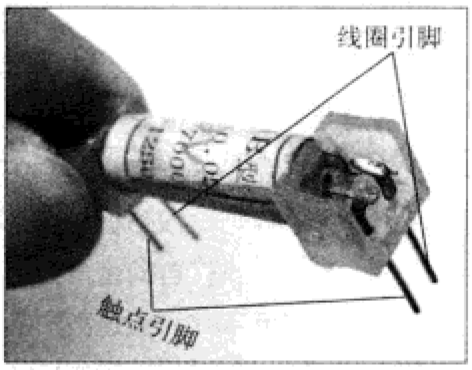


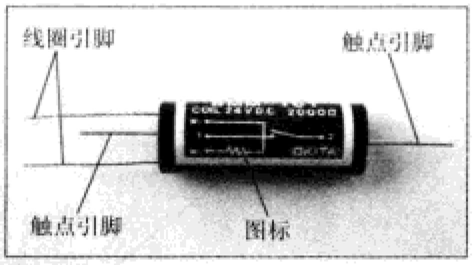
图5 干簧继电器的命名规则

“3”为“ϕ3×20×40”、“4”为“ϕ3×20×38”、“6”为“ϕ2.5×16×30”、“7”为“ϕ5.4×52×83”……第三部分用数字直接表示触点组数。第四部分用字母表示触点形式，其中H表示常开触点（动合触点），D表示常闭触点（动断触点），Z表示转换触点。第五部分用字母区分同一产品额定工作电压的不同，如“A”代表“6V”、“B”代表“12V”、“C”代表“24V”等，有时不用字母，直接标出额定工作电压。附表给出了几种常用国产干簧继电器的型号及性能参数，仅供参考。

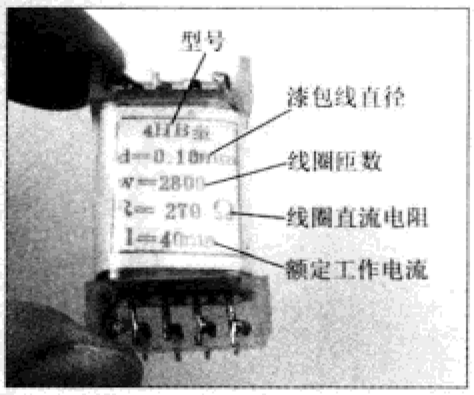
实际上，各厂家对干簧继电器型号的命名并不是完全遵循上面的规则，有些按本厂自订的标准命名，有些则直接采用了国外型号。因此，市场上干簧继电器产品的型号可谓五花八门，令人无规律可循。即使是不同厂家生产的同一型号的产品，其触点负荷等参数往往也有所不同。所以在业余条件下选择和使用同一类型的干簧继电器时，大可不必对型号追根问底，只要产品的主要参数符合需求就可以了。



(a) 看外观



(b) 看图标



(c) 看字标

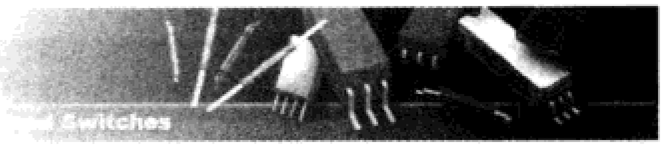
图6 干簧继电器的识别方法

5. 产品标识

干簧继电器具有2个线圈引脚和若干个触点引脚，半密封型或透明外壳的产品引脚可直接观察识别，如图6（a）所示。全密封型干簧继电器一般会将引脚示意图标示在外壳上，如图6（b）所示。微型干簧继电器无法标志，只能通过厂家提供的引脚排列图对照识别，或者借助万用表欧姆挡进行测试，并作出正确判断。

干簧继电器的外壳上一般均标出型号、主要参数、生产厂家标识等，如图6（c）所示，这为识别和使用提供了方便。如果需要了解更详细的参数和性能特点等，就只能查阅厂家产品说明书或干簧继电器的产品手册等。

如何使用干簧继电器



◎张爱迪

干簧继电器在电路图中表示的规范符号，以及在业余条件下用万用表快速检测干簧继电器性能好坏和有关参数的方法，与电磁继电器完全相同，这里不再赘述。下面着重谈一谈使用干簧继电器时必须掌握的一些最基本、最有用的知识和技能。

1. 选择和使用干簧继电器时，首先要根据线圈驱动电路的电源电压、所能够提供的最大电流，确定干簧继电器线圈的额定工作电压或额定工作电流；然后，根据所控电路中切换电压和电流的大小，决定所选干簧继电器的触点负荷大小；最后，根据所控电路的具体要求，确定所选干簧继电器的触点组数及形式。需要指出的是，干簧继电器的触点负荷（容量）远没有电磁继电器大，受触点负荷能力所限，干簧继电器一般适合用于各种小电流、快速切换的电路中。

2. 许多常见的电路图中，将干簧继电器绘成图1所示的象形符号，在分析和阅读时显得直观明了。这一图形符号是由“干簧管图形符号+线圈图形符号＝干簧继电器图形符号”演变而来。但注意它不是规范的图形符号，标准的图形符号与电磁继电器是一致的，读者应了解这一点，以免造成不必要的疑惑或误解。

3. 近年来，微型干簧继电器的生产与应用得到了长足发展。这类产品几乎全部采用了集成电路的封装标准，常见的有单列封装SIP和双列封装DIP两大类，并且有的产品在线圈两端内置了并联保护二极管，有的产品外加了电磁波隔离罩。这类产品的显著特点是，能够直接在印制电路板上焊接，并可与线路板一道进行整体清洗，满足了工厂自动生产线之要求。尽管生产厂家不同，但这类产品外壳的标识中大部分都包含有“SIP-1A05”和“DIP-1B12”、“DIP-1C24”等字符。笔者总结归纳了其含义：左边的3个字母代表产品封装形式，“1A”或“1B”、“1C”分别表示“1组常开触点”、“1组常闭触点”和“1组转换触点”（个别产品的“1A”则表示触点最大允许电流为1A）；“05”、“12”、“24”分别表示线圈的额定工作电压为5V、12V和24V。如果后缀字母“B”或“D”，则表示线圈两端并联有保护二极管，如果后缀字母“S”或“M”，则表示加装了金属电磁波隔离罩。

4. 干簧继电器的线圈在断电瞬间会

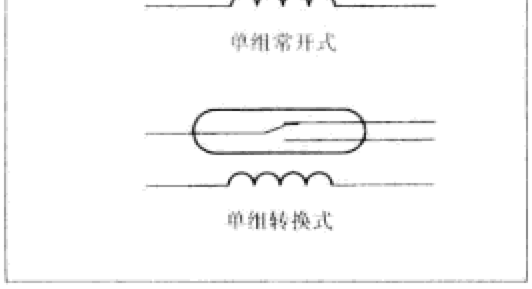


图1 常用干簧继电器的象形符号

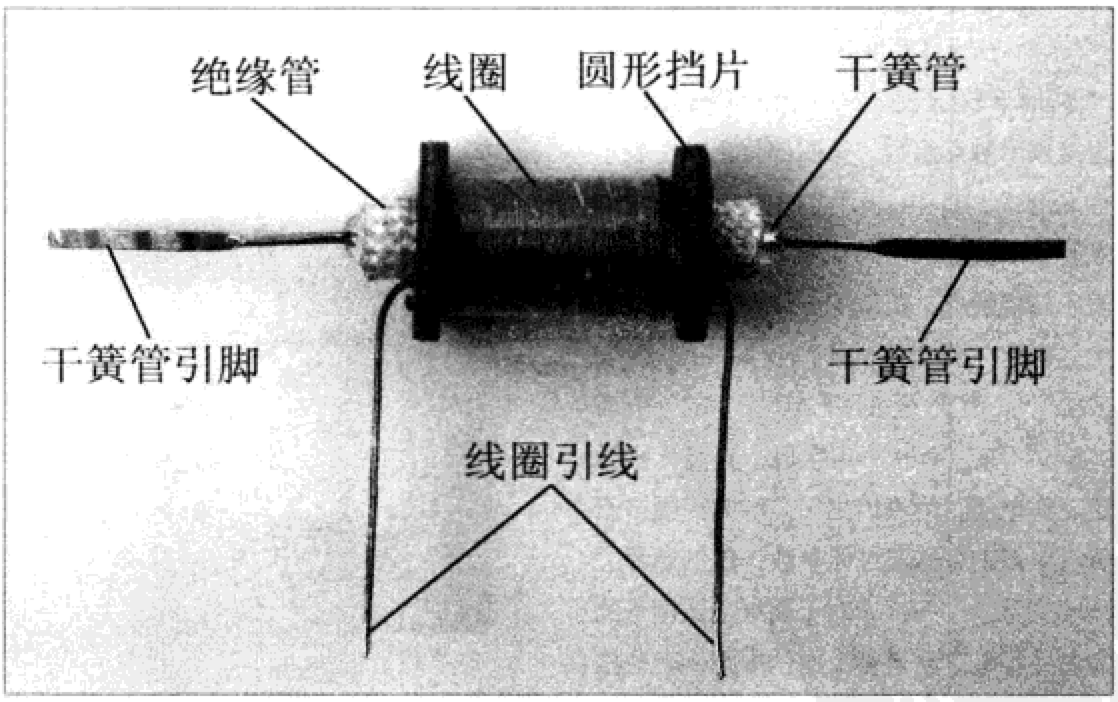
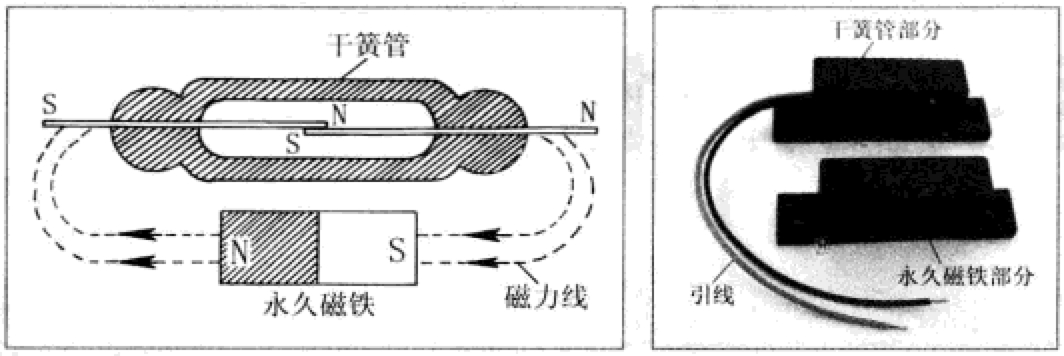


图2 自制干簧管继电器实物外形图



(a) 原理示意　(b) 实物外形

图3 常用磁控开关

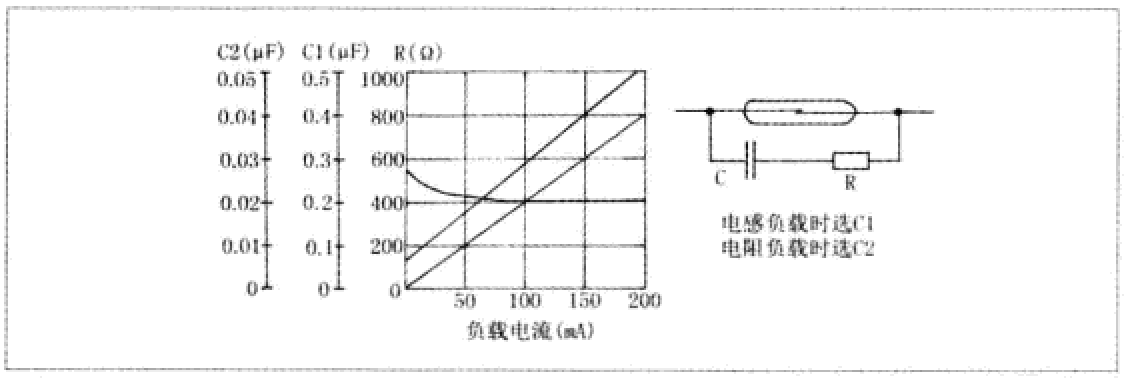


图4 消除触点电火花的电路

产生自感电压，有可能损坏驱动线圈的晶体三极管或集成电路等。为此，应视具体情况在线圈两端并联限压保护二极管来消除自感电压的危害，其情形与电磁继电器完全一样。但要注意，有些微型全密封干簧继电器在内部已经集成了这个二极管，使用时必须识别线圈引脚的极性，将线圈引脚正确接入到驱动电路中。

5. 干簧继电器有一个缺点，就是它容易受到外部磁场的干扰。因此，在使用没有电磁波隔离罩的普通干簧继电器时，必须要注意防范外部磁场所造成的干扰和影响。例如，在变压器、扬声器等强磁场干扰源附近安装普通干簧继电器，有可能造成干簧继电器工作特性的改变，从而使其产生误动作或失控，而多个普通干簧继电器紧靠着安装使用，亦可能造成类似的相互磁场干扰，并导致误动作或失控。对这些特定存在的干扰源，必须引起足够重视。

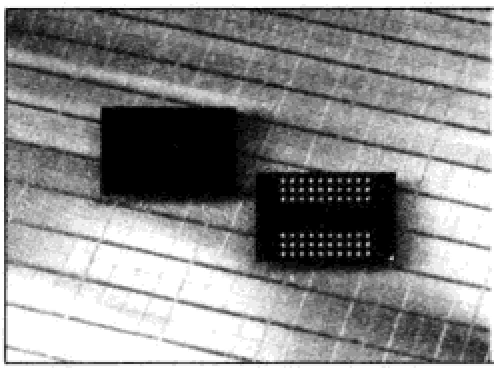
6. 业余电子爱好者在进行电子制作或维修时，如果手头一时找不到合适的干簧继电器，可参照图2所示动手自制。具体方法：找一触点负荷满足被控电路要求的普通干簧管，另截取一段圆形绝缘管（如电工用的绝缘套管），要求其内径比干簧管管径略大、长度与干簧管玻璃体长度相当。为了防止线圈松散，在塑料管的两端可套上合适的圆形绝缘小挡片，并用强力胶粘牢。用ϕ0.1mm左右的漆包线在小塑料管上密绕1500匝以上作为继电器线圈（可参考前面附表提供的线圈数据）。注意漆包线的两头均应焊接上较粗的导线，以作为线圈的引脚。再将干簧管插入小塑料管内，有条件时可用环氧树脂封固线圈和干簧管。这样，一个自制的干簧继电器即大功告成！

由于干簧管的触点具有常开、常闭和转换等多种形式，所以在线圈内插入不同的干簧管，即可构成不同触点形式的干簧继电器。如将若干个干簧管同时插入线圈中间，则可构成多组触点的干簧继电器。而这若干个干簧管可以是相同的触点形式，也可以是不同的触点形式，可根据电路需要按需配制。

7. 构成干簧继电器的主要部件是干簧管，它已形成系列产品，常用型号有JAG-2、JAG-3、JAG-4、JAG-5等。干簧管除了和线圈组成干簧继电器外，还可以十分方便地与永久磁铁配合使用，以构成电子爱好者非常熟悉的磁控开关。永久磁铁可以从任意方向接近干簧管使它动作，如图3（a）所示，利用这一特性，可方便地实现限位、行程控制及非电量检测等。如将干簧管和永久磁铁分别置入便于固定安装的塑料外壳内，便构成了成品磁控开关。图3（b）所示是一种市售成品磁控开关的实物外形图。

8. 干簧继电器的使用寿命一般取决于触点寿命，而触点的实际使用寿命与流过触点的电流大小、断开触点时加在其两端的电压高低（即负载）情况直接相关。触点控制的负荷越大，对触点造成的损伤就会越严重，触点的寿命也就越短。对于半密封的干簧继电器，如果干簧管已经损坏，可通过更换相同规格的新干簧管，使已报废的干簧继电器“起死回生”。

9. 干簧继电器应避免剧烈的碰撞，焊接时注意温度不可过高、时间不可过长。因为碰撞或高温均有可能造成干簧继电器的安匝数发生改变，也就是说会改变触点动作的灵敏度。为了减小干簧继电器的触点在闭合或打开瞬间，所产生的电火花对触点造成的损坏，可按图4右边所示，给触点加上一个RC火花消除电路，也就是在触点两端跨接上一个串联的电阻器R和电容器C，其具体参数可从图4左边的速查表直接获得。还可在触点两端直接跨接上一个标称电压合适的压敏电阻器，其效果更理想。



封装的世界（上）

◎杜洋

春节前与朋友在电影院看了一部非常精彩的科幻大片《创：战纪》（又名《电子世界争霸战2》），除了让我震撼的CG特效外，电影中对电子游戏世界的假设也让我陶醉在不断的联想里。在电影里，男主角的爸爸创造了一个独立于真实世界的电子游戏世界，在这个世界的人民就是程序，每一个程序都有一个自己的身份盘，他们可以把身份盘当武器和其他程序对打，闯关成功的程序还可以玩开摩托车游戏，所有的竞赛如同真实世界一样。电子游戏世界有一扇门可以通向真实世界，真实世界里的人也可以进到电子游戏世界玩游戏，真正达到了“游戏人生”的境界。那一刻我突然联想到，原来我们电子爱好者也有这样的“电子游戏”世界，这就是我们的“电子制作世界”，是属于每一个电子爱好者纯洁和繁华的世界。在电子制作的世界里也有一扇门，当我们为组建好的电路接通电源的那一刻，我们的灵魂随着一道强烈闪光闯入了电子制作的世界。爱好者的热情和能力就是身份盘，可以加入到游戏当中与其他爱好者较量。那些普普通通的电阻、电容、芯片、LED就是组成这个世界的元素，而每一种元素就像宇宙里的星系一样，自成一个小的世界。我们电子爱好者游走于真实世界和电子制作的世界里，在真实世界里生存，在电子制作的世界里寻找快乐和人生的意义。

如果真的有电子制作世界，那么值得我用文章来介绍的东西就太多了，老读者还记得我在《无线电》上曾经介绍过LED（见2009年第4期《LED进化史》），而LED和电阻、电容一样都如宇宙中的一团星系，除了选择非常重要的“星系知识”与大家分享之外，还有没有一种跟各个星系都有着一定联系的东西值得我写一写呢？于是我想到了“封装”，每一款元器件都有封装，但封装的重要性并不如芯片功能那样被关注。当我不小心开始研究封装时，我发现被大多数爱好者忽视的封装竟有着自己宏大的世界。它既有历史也有未来，种类繁多又不失特色，封装的发展直接影响着电子技术的发展。当你看完这篇文章时，你也许会对封装有了全新的理解和想法。好了，让我们带上好奇心与热情，眼睛随着文字流动，一起闯入神奇的封装世界吧。

封装材料的历史

想来想去，我还是觉得先从封装的历史讲起。在那个电子技术不发达的1879年，有一位大师发明了一件沿用至今的产品，这件产品的封装就成了应用最早、最广泛的封装之一。没错，这位大师就是美国通用电气公司的创始人托马斯·阿尔瓦·爱迪生（Thomas Alva Edison），这件产品就是今天还处处可见的玻璃外壳的白炽电灯泡（见图1）。从此，封装设计也如混沌初开，造就了一个纷繁精彩的封装世界。

发明了电灯的爱迪生可谓名利双收，可是他仍然坚持在实验室里研究，他可能是最早的电子爱好者了。1880年的一天，他在灯泡里加了一个电极又洒了一些箔片，一不小心发现了二极管的单向导电现象，后来者在这个实验原理的基础上发明了二极管，不久又发明出了三极管。大家都知道，现代电子技术最基本的器件就是二极管和三极管，有了这二件法宝，才有了我们今天的电子世界。当时的二极管、三极管、多极管和电灯泡一样，都是

图1 电灯泡

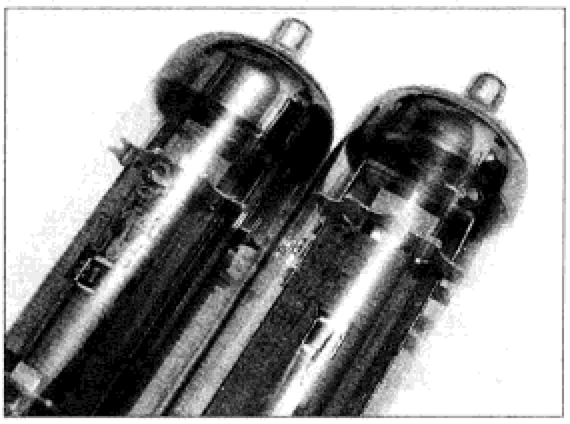


图2 电子管

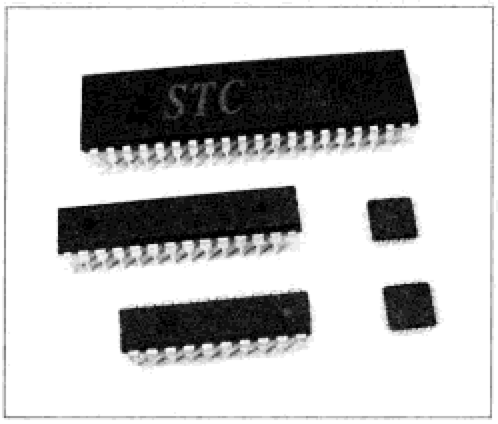


图3 塑料封装的芯片

玻璃封装的，这也构成了我们对电子管的第一印象，也就是一提到电子管（见图2）大家自然会想到玻璃封装。当时还没有印制电路板的技术，元器件之间是用导线直接连接的。玻璃封装的密封性好、透光，但易碎、不方便移动。后来在军用产品上的电子管则采用了金属外壳。在新技术、新材料没有发明之前，玻璃和金属成了封装世界里仅有的成员。

一转眼，人类进入了伟大的20世纪，在20世纪里人类有了无数的发明创造，比以往任何时候都多。但有两项重大发明改变了人类的历史和封装的历史。1907年，美国人列奥·亨德里克·贝克兰（Leo Hendrik Baekeland）发明了酚醛塑料，标志着塑料时代的到来。塑料的重量轻、便宜、可塑性强，看上去可以完全代替玻璃和金属外壳。但用塑料来制作电子管的外壳并不理想，因为电子管在工作时的功率大、热量高，加上当时的塑料性能并不好，所以并没有普及到电子管的封装材料上。直到40年后，塑料才有机会战胜了玻璃和金属，成为封装世界的霸主。1947年，美国贝尔实验室的研究小组，研制出一种点接触型的锗晶体管。晶体管的体积小、功耗低，没用多长时间就打败了电子管，成为电子世界的新宠，也为后来集成电路的发明做好了准备。好了，当塑料遇上晶体管会有什么奇迹发生——封装的世界发生了一次“寒武纪生物大爆炸”，无数以塑料封装（见图3）的二极管、三极管、场效应管、集成电路一夜间占领了民用元器件市场。虽然陶瓷也曾被用作集成电路的封装，但从综合指标和发展潜力上讲仍不及塑料。封装的这次革命也为后来封装种类和性能的发展提供了先决条件。虽然塑料封装如此普及，但并不表示玻璃、陶瓷和金属封装就灭绝了。在军用、航天和特定的工业级产品领域可以看到金属、陶瓷封装的元器件，而玻璃封装也在少数产品中使用，比如LCD屏、水银开关、玻璃加陶瓷的混合封装等，当然还有电子管和电灯泡的封装。以上我们是以新技术、新材料的角度去了解封装的发展历史，因为材料的发展对封装的进化起着决定性作用。从塑料封装发明至今，还没有任何一种新的材料可以取而代之。塑料封装与晶体管、集成电路已经是最完美的组合，它好像在对我们说：“嗨，哥们，我就是终结者”！时至今日，在新技术、新材料没有突破的时候，封装的发展开始转向封装的形状设计上了。特别是在集成电路普及之后，工程师们开始尝试通过改变封装的形状来达到性能的飞越。于是封装的外观越来越小、越来越薄，集成电路芯片的引脚越来越多、速度越来越快了。下面我们再从封装形状设计的角度来继续了解封装的世界。

封装形状的历史

其实用“形状”作为封装的分类标准并不准确，用“结构设计”更好一些。我这样讲是为了方便理解和区别，并不是正规的说法。所谓的封装，说白了就是在一定形状的塑料（或其他材料）壳体上引出一些金属针脚或焊接点（一般统称为引脚），用这些引脚把元器件连接在电路中。所以我们很容易想到，封装的形状会根据引脚数量的不同而不同，另一个影响封装形状的因素是封装在印制电路板（PCB）上的安装方式。

讲到这里，有朋友会好奇地问，封装是一种包装，那么它要包装的东西是什么呢？还有，什么样的封装标准是最好的呢，也就是说封装的发展方向和终极目标是什么呢？这是两个非常好的问题，如果我们不了解这两个答案，我们就不能从根本上认识封装，也不能正确思考未来封装的样子。现在我先解答前一个问题，后一个问题等我们讲完封装的历史之后，我稍说几句你自然就明白了。封装的里面包着的是什么呢？首先我们要先抛开电阻、电容之类的元件，因为他们的结构简单但讲起来却很复杂，文章后面我再来简要说说它们。我们先说二极管、三极管、集成电路芯片这些常用的器件吧。这样看来，塑料（或其他材料）封装里包裹的只有两样东西——晶体和晶片。二极管、三极管就是由晶体构成的，晶体的体积可以非常小，可以小到眼睛无法分辨的程度。封装这些晶体并不困难，也没有太高的技术要求。而集成电路则是以晶片的形式出现的，集成电路的生产过程和包饺子差不

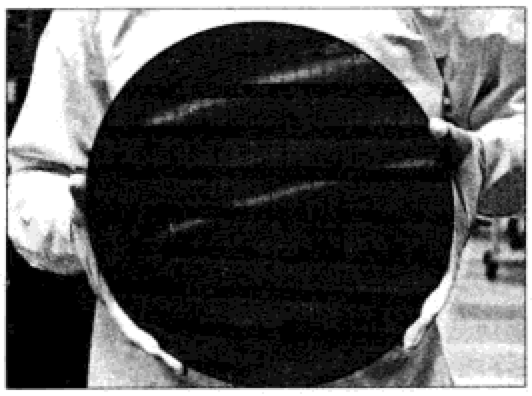


图4 晶原片

多。饺子馅就是晶片，饺子皮就是塑料封装。工程师们在无尘实验室里先用精密的机器制作出以硅为材质的晶原片（见图4），晶原片是一块很大的硅晶片，上面有成百上千个独立功能的小晶片，晶原片就好像一大盆馅，可以包很多饺子。随后晶原片被拿去工厂，精准的被切割成很多个小晶片。根据集成电路的复杂程度，晶片的大小也不同，封装的大小也不同。由此看来，集成电路的封装是复杂的，由于晶片的差异，衍生出的封装千变万化，从TO到DIP，再到PLCC，接着到QFP，随后到BGA，最终到CSP，一路走来非常精彩。

1947年晶体管出现之后，其封装的设计随之展开，最早的一批晶体管封装的型号是以TO开头的。曾经有过一种有着特定的工业或军事应用的金属壳多极管封装TO-39（见图5），有现在最常见的塑料三极管封装TO-92（见图6），还有电子爱好者常用的直插式稳压芯片LM7805所使用的TO-220封装（见图7），还有直引脚贴片式封装的TO-89（见图8），TO系列封装几乎一统天下了。1958年美国德州仪器公司（TI）工程师杰克.基尔比发明了集成电路，一些集成电路芯片还仍然使用TO系列封装，但随着集成电路晶片面积越来越大、引脚越来越多，TO封装已经吃不消了。

于是20世纪70年代出现了新的封装设计——双列直插封装（DIP）（见图9），我花了好长时间搜索DIP封装的发明者或研发它的公司，可是什么也没找到，就连DIP封装发明的准确日期也没找到。乍看DIP封装好像是一只多脚虫，引脚间距为2.54mm，引脚数量可以从6个到64个，一般用“DIP”字样加上引脚数量表达封装形式，如“DIP20”就是有20个引脚的DIP封装。安装在带有过孔的PCB板上。从下面这张DIP封装的图片上可以看到，封装中间是集成电路晶片，晶片周围用很细的金属导线把晶片上的接口电极导到封装外的引脚上。DIP封装有陶瓷和塑料两种封装材料，DIP封装坚固可靠，英特尔公司最早生产的4004、8008处理器均采用了DIP封装。DIP封装一出现几乎就统治了市场，几乎所有的直插式芯片都有DIP封装的产品，直到现在我们还在使用着，你手边的40脚的51单片机就是DIP40封装的。另外还有一种不常用的芯片封装叫SIP，意思是单列直插封装，现在几乎看不到了，大家知道一下就行了。

DIP封装好是好，可就是太大了，当用于小型手持设备时，DIP封装就显得笨拙了，于是飞利浦公司开发出了SOP小外型封装。SOP封装（见图10）引脚间距为1.27mm，引脚数在8～44脚，SOP属于表面贴装元器件，无需过孔，可以直接焊在印制电路板表面。飞利浦是大公司，SOP封装一出，其他公司也开始跟进。SOP封装开始占领小尺寸贴片封装的市场。为了迎合市场上各种芯片的不同特点，飞利浦公司又在SOP封装的基础上设计出一系列封装，它们包括SOJ（J型引脚小外形封装）、SOI（I形引脚小外型封装）、TSOP（超薄的小外形封装）、VSOP（微小的外形封装）、SSOP（缩小版SOP封装）、TSSOP（超薄的缩小型SOP封装）、SOT（小外形晶体管封装）、SOIC（小外形集成电路）封装等。这么一大堆封装名真是很难记下来，不过它们都有一个特点就是每一款名称里都有“SO”字样，使用SOP系列封装的生产商们也发现了这一点，于是他们就把“SO”作为SOP封装的别名到处宣讲了。当你看到“SOP-8”和“SO-8”的字样时，你要知道它们所表示的是一种封装。

好了，现在我们有了DIP封装芯片可以用于低成本、稳定性好的工业设备中，又有了SOP封装芯片，用于小尺寸手持式产品里，如果没有其他条件改变的话，DIP和SOP并肩作战就可以应对所有的芯片封装问题了。可是这个世界上唯一不变的东西就是变化，DIP和SOP并未过时，

图5 TO-39

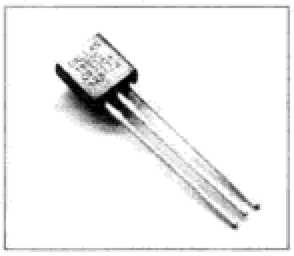


图6 TO-92

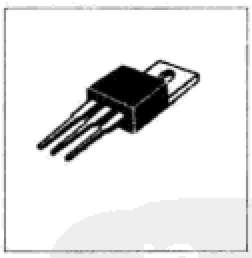


图7 TO-220

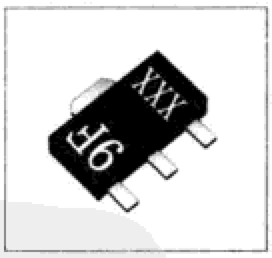


图8 TO-89

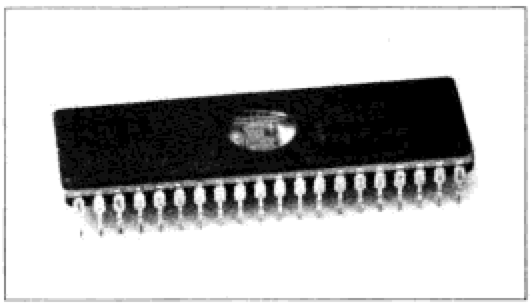


图9 双列直插封装（DIP）

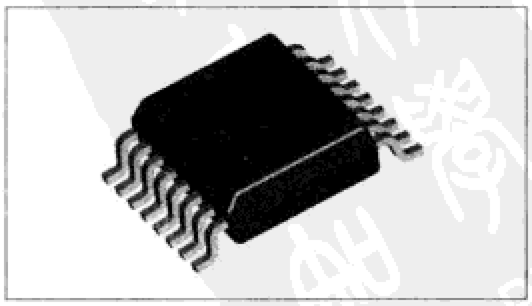


图10 SOP封装

但在高新领域已不能胜任。把它们推下神坛的是PLCC封装（见图11），借助的是引脚更多的优势。SOP是芯片主体的两侧引脚，最大引脚数为44。当一款芯片需要更多的引脚时，PLCC封装则轻松的接过了任务。PLCC封装的引脚从封装的四个侧面引出，引脚向内的贴片式焊接，外壳为塑料材质，引脚间距是1.27mm，引脚数量在18～84。就这样PLCC封装被广泛应用在多引脚芯片的封装形式上，再一次丰富了封装的世界。

TO、DIP、SOP、PLCC分别应对晶体管、坚固性、小体积和多引脚。现在封装的世界应该完美了吧，可是没过多久，又有了新的变化。随着微电子、微处理器技术的发展，要求处理器及周边的芯片的响应速度越来越快。除了芯片本身的性能提升外，芯片的封装也成了影响提速的因素之一。其中最主要的原因是芯片引脚过长。在芯片间进行数据通信时，芯片间的导线和引脚长度越大，通信的稳定性和速度就越差。为了提高速度，我们急需一种应对高速通信，同时又有着更多引脚的封装形式。市场的需求永远是技术发展的源动力，没过多久QFP系列封装（见图12）问世了，QFP封装和PLCC封装一样也是四周引脚的形式，不过QFP体积更小、引脚形状类似于z型，最多可支持304个引脚。QFP以引脚数量和高稳定性取胜，却又产生了新的问题。当QFP封装的引脚更多、更细时，轻微的外力作用就容易使引脚变形、不能焊接了。于是QFP封装又衍生出一系列封装形式以解决这些问题。例如，封装的四个角带有树脂缓冲垫的BQFP封装，带树脂保护环覆盖引脚前端的GQFP封装，在封装本体里设置测试凸点、放在防止引脚变形的专用夹具里就可进行测试的TPQFP，还有超薄型设计的LQFP封装，小引脚密间距的FQFP封装等。需要说明的是，QFP封装并不是最早用于高速通信芯片中的封装形式，而且大家对“高速”这个词随着技术的发展程度不同也有不同的理解，这里所讲的是相对的概念。

QFP封装体积小、引脚多，可是生产时却容易遇到问题，在引脚数量过多时，每一个引脚就会很细，稍有一点磕碰就会让引脚大面积变形，再想修整过来也很不容易。虽然有了BQFP、GQFP等防变形封装设计，可它们是对外力进行缓冲，不能从根本上解决问题。而后，美国摩托罗拉公司开发出了很有创意的BGA系列封装（见图13）。BGA封装并没有靠加固引脚取胜，而是改变思路从结构设计上入手，把引脚引出的地方从芯片的四边改到了芯片的底面上。所有引脚触点呈阵列排布，引脚数量由芯片的底面积决定，一般都在200个引脚以上。因为是用芯片底面的塑料封装作为支撑，所以不会有QFP封装引脚变形的问题发生。另外，BGA封装的应用也和印制电路板技术的发展有关。传统的单层和双层PCB是不能焊接BGA封装的，因为BGA封装所有的引脚都在下面，使PCB布线的难度大大增加。如果不用4层板、8层板或更多层板，BGA封装也不会被普及使用。

BGA封装现在被广泛应用于微处理器等高速集成电路上面，目前虽然技术已经成熟但价格较高。对于我们电子爱好者来说BGA封装并不讨喜，因为它的引脚都在下面，再细的电烙铁也伸不到底下去焊接。当封装发展到BGA封装时，就注定与我们电子爱好者无缘了。BGA封装需要用专用的设备才能焊到PCB上，焊接的可靠性高。不过由于引脚都在下面，看不见，所以焊接质量如何、有没有短路就只能通过芯片的功能测试来推断了。这个问题至今还没有好的解决办法。

从封装形状上看BGA封装确实已经很完美了，芯片底面引脚阵列也将会是未来封装的主流。之后的岁月里，封装的发展方向由形状设计转向到“精小”设计了。所谓的“精小”设计就是在封装设计上尽量减小封装外壳面积与晶片面积的倍数。

图11 PLCC封装

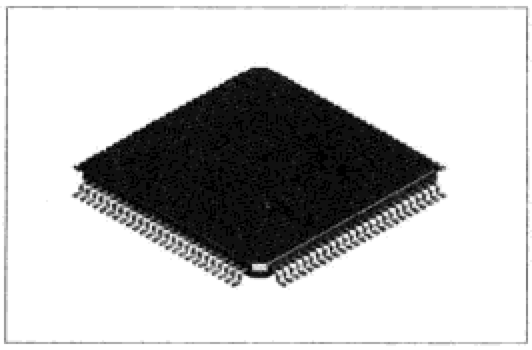


图12 QFP封装

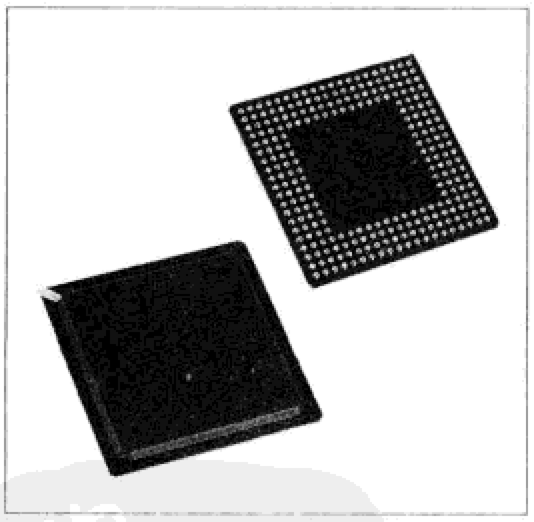


图13 BGA封装

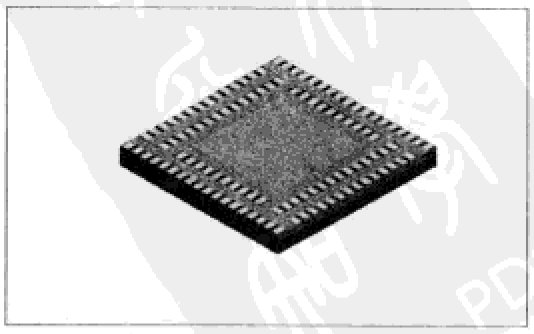


图14 CSP封装

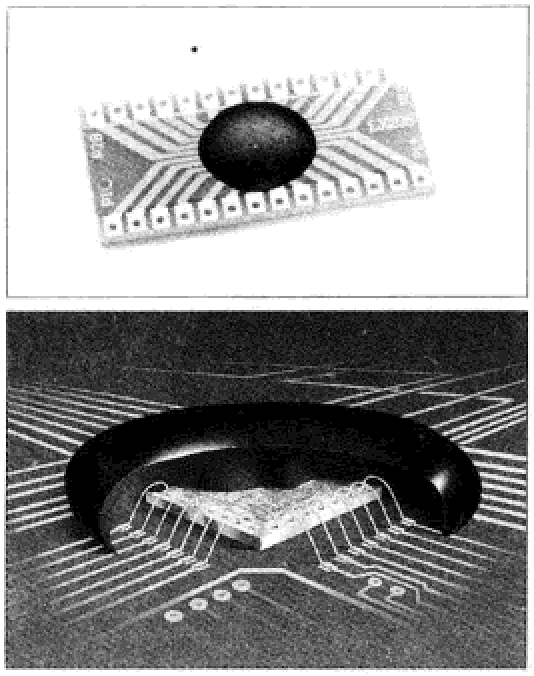


图15 COB封装

先让我们回忆一下早期的DIP封装，当时因为技术的落后，只有指甲大小的晶片要被封装成打火机大小的DIP封装，封装外壳尺寸是晶片面积的100多倍，这么大的无用面积很浪费材料不说，也无法让电子设备更小巧。后来的PLCC、QFP、BGA封装，在解决前一代的设计不足之余也在不断的减小外壳与晶片的面积比例。于是从这个角度说来，BGA封装外壳是晶片面积的3～5倍，封装的世界还有发展的潜能。借此改革春风，CSP封装（见图14）问世。CSP封装从形状和结构设计上和BGA封装相似，但CSP封装的优势就在于它的外壳面积是晶片面积的1.2倍，这是相当大的进步，几乎接近了晶片的尺寸。CSP封装可以让芯片变得更小、性能更好。CSP封装现在已经广泛应用于消费类电子产品，比如我们的手机、数码相机里面都会有CSP封装存在。

讲到这里，我们就算基本讲完了。文章的结束并不代表封装世界的停步，目前还有一些新的封装设计已经问世，只是因为技术还不成熟、也没有被广泛应用，所以我们这里暂不介绍了。让我们总结一下，根据我们上文所讲，封装可以分为TO、DIP、PLCC、QFP、BGA、CSP这几个大类，各类中又有大同小异的一系列封装。如果看封装与印制电路板之间的关系可以看出，早期的TO和DIP封装主要以直插式为主，而后来的封装形式则以表面贴装的方式为主。于是，在我们行业内大概的把直插式封装含糊的称为“DIP”，把表面贴装的封装统称为“SMD”，说明并不标准，但业内人一听就懂了。

现在，让我们回看封装的历史，我们以上所讲的只是封装发展的一条主线，并没有包括旁枝末节，那些非主流的封装也时常出现在我们眼前。比如在LCD屏模块上常见的COB黑胶封装（见图15），是把晶片直接固定在PCB上，然后用细丝导线引出接口电极到PCB上，最后用黑胶体覆盖。再如我们家用PC机上的CPU的PGA封装（见图16），PGA和BGA同是底部引脚方式，但BGA引出的是锡球焊点，PGA引出的是镀金的针脚。所以我们的CPU是可以拆卸的，拆下后我们可以看到密密麻麻的针脚。除去芯片的封装，我们还应该介绍一下常用元器件（如电阻、电容）的封装，不过这些内容并不多，可以顺带的讲一讲。于是我留到下集里介绍吧。

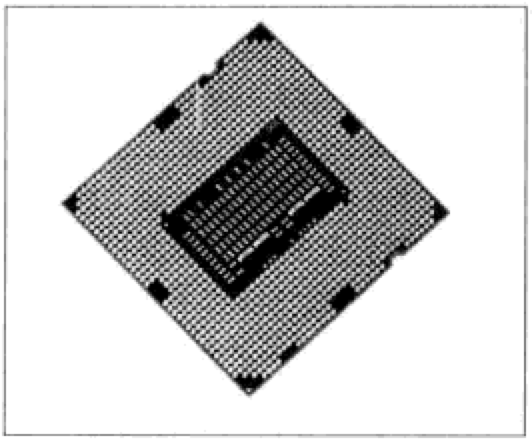


图16 PGA封装

封装的现在与未来

封装的世界短短几十年间，却有着令人惊叹的发展速度。到了现今，即使是专业人士也很难全面了解所有的封装。但无论封装技术发展多快，它都是要遵循一个恒久不变的目标，这也是衡量一个芯片封装技术先进与否的重要指标。

1. 晶片面积与封装面积的比值，为提高封装效率，尽量接近1:1；

2. 引脚要短以减少延迟，引脚间的距离尽量远，以保证互不干扰，提高性能；

3. 基于散热的要求，封装越薄越好。

为了撰写本文，我在图书馆和网上找了大量的资料，可是有一些历史日期和细节并没有找全，还有一些网上搜索的资料的权威性也无法考证，所以本文一定会有一些不足和错误。我在这里诚恳的请读者朋友批评、指正。本文的目标并不是希望大家熟记各种封装，我只是希望大家可以从历史的角度、从应用的角度来了解封装技术发展规律和过程。这种了解虽然不如记住封装名称实用，但我向你保证，从历史、文化层面的学习可以转变你的思维方式，扩展你的视野和观察问题的角度，它是适用于任何领域的思考习惯，会让你较长时间的受益。如果你相信我的话，就请不要只是死记名称，而是轻松地在头脑里想象一下封装的发展历程，然后再看看下面的封装种类列表，在你的心里把它们分类慢慢记下吧。

下一期，我会以目前常见的封装为例，介绍它们的使用特性、PCB设计、焊接方法和我对这些封装的使用心得。让大家不仅了解封装的历史及种类，还要在实际应用中熟悉地使用它们。我想这会是大家渴望学习的东西，也是我下一期希望达到的目标。

封装前缀：

◆ **C－**：表示陶瓷封装的记号，例如CDIP表示的是陶瓷DIP。

◆ **H－**：表示带散热器的标记，例如HSOP表示带散热器的SOP。

◆ **P－**：表示塑料封装的记号，例如PDIP表示塑料DIP。

封装分类：（按字母顺序排列）

◆ **BGA（又名PAC）**：球形触点阵列，表面贴装型封装之一，也称为凸点阵列载体（PAC）。引脚可超过200，是多引脚LSI用的一种封装。封装本体也可做得比QFP小。例如，引脚中心距为1.5mm的360引脚BGA仅为31mm见方；而引脚中心距为0.5mm的304引脚QFP为40mm见方。最初，BGA的引脚（凸点）中心距为1.5mm，引脚数为225。现在也有一些LSI厂家正在开发500引脚的BGA。

◆ **BQFP**：带缓冲垫的四侧引脚扁平封装。QFP封装的一种，在封装本体的四个角设置突起（缓冲垫）以防止在运送过程中引脚发生弯曲变形。引脚中心距为0.635mm，引脚数从84到196。

◆ **Cerdip**：用玻璃密封的陶瓷双列直插式封装，带有玻璃窗口的Cerdip用于紫外线擦除型EPROM以及内部带有EPROM的微机电路等。引脚中心距为2.54mm，引脚数从8到42。

◆ **CLCC**：带引脚的陶瓷芯片载体，表面贴装型封装之一。引脚从封装的四个侧面引出，呈丁字形，带有窗口的用于封装紫外线擦除型 EPROM 以及带有 EPROM 的微机电路等。

◆ **COB（黑胶封装）**：板上芯片封装，是裸芯片贴装技术之一。半导体芯片交接贴装在印制线路板上，芯片与基板的电气连接用引线缝合方法实现，并用树脂覆盖以确保可靠性。虽然COB是最简单的裸芯片贴装技术，但它的封装之间的密度较低。

◆ **DIP（又称DIL）**：双列直插式封装，插装型封装之一。引脚从封装两侧引出，封装材料有塑料和陶瓷两种。DIP是最普及的插装型封装，应用范围包括标准逻辑IC，存贮器LSI，微机电路等。引脚中心距为2.54mm，引脚数从6到64。封装宽度通常为15.2mm。有的把宽度为7.52mm和10.16mm的封装分别称为skinnyDIP和slimDIP（窄体型DIP）。但多数情况下并不加区分，只简单地统称为DIP。

◆ **DICP**：双侧引脚带载封装，TCP（带载封装）之一。引脚制作在绝缘带上并从封装两侧引出。由于利用的是TAB（自动带载焊接）技术，封装外形非常薄。常用于液晶显示驱动LSI，但多数为定制品。

◆ **flip-chip**：倒焊芯片，裸芯片封装技术之一。在LSI芯片的电极区制作好金属凸点，然后把金属凸点与印制基板上的电极区进行压焊连接。封装的占有面积基本上与芯片尺寸相同。是所有封装技术中体积最小、最薄的一种。但如果基板的热膨胀系数与LSI芯片不同，就会在接合处产生反应，从而影响连接的可靠性。因此必须用树脂来加固LSI芯片，并使用热膨胀系数基本相同的基板材料。

◆ **FQFP**：小引脚中心距QFP，通常指引脚中心距小于0.65mm的QFP。

◆ **CQFP**：带保护环的四侧引脚扁平封装，塑料QFP之一。引脚用树脂保护环掩蔽，以防止弯曲变形。在把LSI组装在印制基板上之前，从保护环处切断引脚并使其成为海鸥翼状（L形状）。引脚中心距为0.5mm，引脚数最多为208。

◆ **JLCC**：J形引脚芯片载体。指带窗口CLCC和带窗口的陶瓷QFJ的别称。

◆ **LCC**：无引脚芯片载体。指陶瓷基板的四个侧面只有电极接触而无引脚的表面贴装型封装。

◆ **LGA**：触点阵列封装，即在底面制作有阵列状态坦电极触点的封装。装配时插入插座即可。现已实用的有227触点和447触点的陶瓷LGA。LGA与QFP相比，能够以比较小的封装容纳更多的输入输出引脚。

◆ **LOC**：芯片上引线封装，LSI封装技术之一。引线框架的前端处于芯片上方的一种结构，芯片的中心附近制作有凸焊点，用引线缝合进行电气连接。与原来把引线框架布置在芯片侧面附近的结构相比，在相同大小的封装中容纳的芯片宽度达1mm左右。

◆ **LQFP**：薄型QFP。指封装本体厚度为1.4mm的QFP，是日本电子机械工业会制定的新QFP外形规格用名。

◆ **L－QUAD**：陶瓷QFP之一。封装基板用氮化铝，基导热率比氧化铝高7～8倍，具有较好的散热性。封装的框架用氧化铝，芯片用灌封法密封，从而抑制了成本。现已开发出了208引脚（0.5mm中心距）和160引脚（0.65mm中心距）的LSI逻辑用封装，并于1993年开始投入批量生产。

◆ **MCM**：多芯片组件。将多块半导体裸芯片组装在一块布线基板上的一种封装。

◆ **MQUAD**：美国Olin公司开发的一种QFP封装。基板与封盖均采用铝材，用粘合剂密封。在自然空冷条件下可容许2.5～2.8W的功率。

◆ **PCLP**：印制电路板无引线封装。日本富士通公司对塑料QFN（塑料LCC）采用的名称。引脚中心距有0.55mm和0.4mm两种规格。目前正处于开发阶段。

◆ **PGA**：阵列引脚封装，表面贴装型。其底面的垂直引脚呈阵列状排列。封装基材基

本上都采用多层陶瓷基板，多用于高速大规模逻辑LSI电路，成本较高。引脚中心距通常为2.54mm，引脚数从64到447左右。为了降低成本，封装基材可用玻璃环氧树脂印制基板代替。也有64～256引脚的塑料PGA。

◆ **PLCC**：带引线的塑料芯片载体，表面贴装型。引脚从封装的四个侧面引出，呈丁字形，是塑料制品。引脚中心距为1.27mm，引脚数从18到84。J形引脚不易变形，比QFP容易操作，但焊接后的外观检查较为困难。美国德克萨斯仪器公司首先在64k位DRAM和256k位DRAM中采用，现在已经普及用于逻辑LSI、DLD等电路。

◆ **P－LCC**：有时候是塑料QFJ的别称，有时候是QFN（塑料LCC）的别称。部分LSI厂家用PLCC表示带引线封装，用P－LCC表示无引线封装，以示区别。这块的定义比较混乱。

◆ **QFH**：四侧引脚厚体扁平封装，塑料QFP的一种。为了防止封装本体断裂，QFP本体制作得较厚。

◆ **QFI**：四侧I形引脚扁平封装，表面贴装型。引脚从封装四个侧面引出，向下呈I字。也称为MSP。贴装与印制基板进行碰焊连接。由于引脚无突出部分，贴装占有面积小于QFP。

◆ **QFJ**：四侧J形引脚扁平封装，表面贴装型。引脚从封装四个侧面引出，向下呈J字形。引脚中心距为1.27mm。材料有塑料和陶瓷两种，引脚数有32到84。

◆ **QFN**：四侧无引脚扁平封装，表面贴装型，现在多称为LCC。封装四侧配置有电极触点，由于无引脚，贴装占有面积比QFP小，高度比QFP低。但是，当印制基板与封装之间产生应力时，在电极接触处就不能得到缓解。因此电极触点难于做到QFP的引脚那样多，材料有陶瓷和塑料两种，引脚数一般从14到100。

◆ **QFP（又名FP）**：四侧引脚扁平封装，表面贴装型。引脚从四个侧面引出呈海鸥翼（L）型。基材有陶瓷、金属和塑料三种，塑料封装占绝大部分。引脚中心距有1.0mm、0.8mm、0.65mm等多种规格。0.65mm中心距规格中最多引脚数为304。

◆ **QTCP**：四侧引脚带载封装，TCP封装之一。在绝缘带上形成引脚并从封装四个侧面引出，是利用TAB技术的薄型封装。

◆ **QUIP**：四列引脚直插式封装。引脚从封装两个侧面引出，每隔一根交错向下弯曲成四列。引脚中心距为1.27mm，当插入印制基板时，插入中心距就变成2.5mm。因此可用于标准印制线路板，是比标准DIP更小的一种封装。材料有陶瓷和塑料，引脚数为64。

◆ **SDIP（又名SH-DIP）**：收缩型DIP，插装型封装，形状与DIP相同，但引脚中心距（1.778mm）小于DIP（2.54mm）。引脚数从14到90。也有称为SH-DIP的。材料有陶瓷和塑料。

◆ **SIMM**：单列存贮器组件，只在印制基板的一个侧面附近配有电极的存贮器组件。通常指插入插座的组件，标准SIMM有中心距为2.54mm的30电极和中心距为1.27mm的72电极两种规格。

◆ **SIP（又名SIL）**：单列直插式封装，引脚从封装一个侧面引出，排列成一条直线。当装配到印制基板上时封装呈侧立状。引脚中心距通常为2.54mm，引脚数从2到23，多数为定制产品。封装的形状各异。

◆ **SOI**：I形引脚小外型封装，表面贴装型。引脚从封装双侧引出向下呈I字形，中心距为1.27mm。贴装占有面积小于SOP。引脚数为26。

◆ **SOJ**：J形引脚小外型封装，表面贴装型。引脚从封装两侧引出向下呈J字形。通常为塑料制品，引脚中心距为1.27mm，引脚数从20到40。

◆ **SONF**：无散热片的SOP，与通常的SOP相同。为了在功率IC封装中表示无散热片的区别，有意增添了NF标记。

◆ **SOF**：小外形封装，表面贴装型。引脚从封装两侧引出呈海鸥翼状（L字形）。材料有塑料和陶瓷，引脚中心距为1.27mm，引脚数从8到44。

◆ **SOW**：宽体SOP，部分半导体厂家采用的名称。

封装的别称：

◆ **QIC**：陶瓷QFP的别称，部分半导体厂家采用的名称。

◆ **QIP**：塑料QFP的别称，部分半导体厂家采用的名称。

◆ **QUIL**：QUIP的别称（见QUIP）。

◆ **SO**：SOP的别称，世界上很多半导体厂家都采用此别称。

◆ **SOIC**：SOP的别称，国外有许多半导体厂家采用此名称。

◆ **PFPF**：塑料扁平封装，塑料QFP的别称。

◆ **MSP**：**QFI的别称（见QFI）**，在开发初期多称为MSP，QFI是日本电子机械工业会规定的名称。

◆ **FP**：扁平封装。表面贴装型封装之一。QFP或SOP的别称，部分半导体厂家采用此名称。

◆ **DSO**：双侧引脚小外形封装，SOP的别称（见SOP），部分半导体厂家采用此名称。

◆ **DIC**：由玻璃密封的陶瓷DIP封装的别称。

◆ **CPAC**：美国Motorola公司对BGA的别称。

短波传播的奥秘

◎R.Brown（NM7M）著　刘璞（BA7JS）编译

太阳数据与地磁数据

在美国，与短波传播相关的太阳数据的主要来源，是通过位于科罗拉多州博尔德（Boulder, CO）的NOAA（美国国家海洋和大气管理局）。它有三种不同的形式：每个小时整点后第18分钟开始的WWV广播（WWV是美国国家标准技术研究院的无线电呼号），“太阳与地球物理数据的初步报告与预测”邮件以及任何时候可以拨打电话打给NOAA/SESC PBBS并下载太阳报告文件。但是在我们查看这些来源之前，先来看看这些信息本身。

来自太阳的数据

让“小枪”首先感兴趣的是每天都可以通过上述渠道了解太阳数据，尤其是电磁波频谱内的数据。NOAA提供每天的10.7cm太阳射电（无线电波）噪声通量、太阳朝向地球的一面上可见的黑子数，以及1~8埃范围内的平均背景X射线通量，这是由处于同步卫星轨道高度的GOES-7号卫星所记录的。

10.7cm的太阳噪声通量每小时由WWV在2.5MHz、5MHz、10MHz、15MHz和20MHz上播出，它是一个数值，是按太阳射电噪声通量单位（即s.f.u.，1 s.f.u.=1E-22W/m^2/Hz带宽）表示的强度。典型的10.7cm通量值是在65～350范围之内，取决于太阳的活动水平。

这里要提醒一下，具有10.7cm波长的太阳光子仅有1.1E-5eV的能量，落在了足够电离任何电离层中的原子和分子所需能量的一百万分之一以下！因此，10.7cm的辐射对上层大气的电离没有任何贡献。对其价值的认知来源于以下事实：大气层对于10.7cm的辐射是透明的，这种辐射可以自由地通过大气层窗口，其取值（以s.f.u.为单位）的任何变化，都代表太阳上的活动

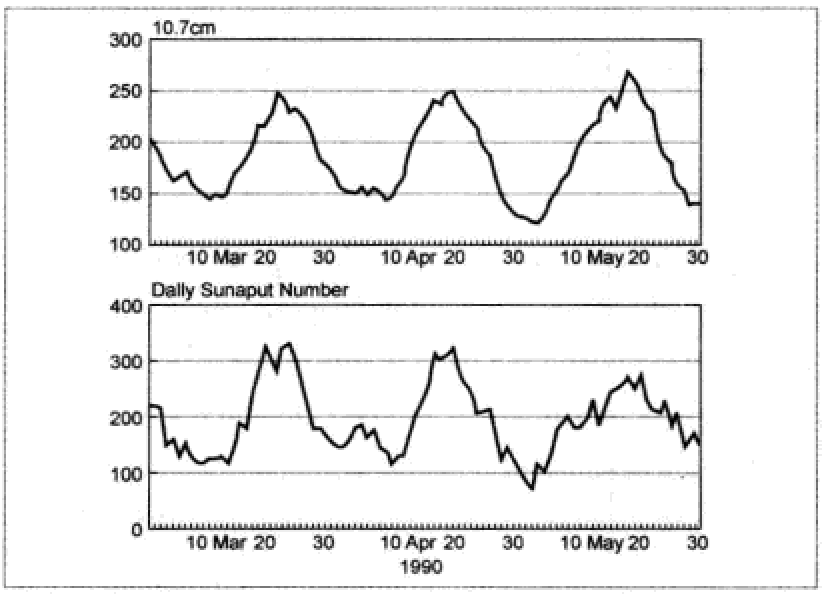
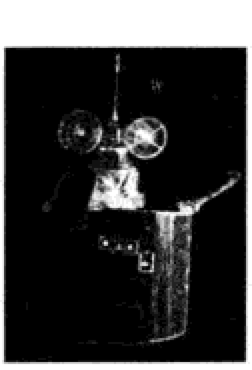


图1 1990年的10.7cm太阳通量和每日太阳黑子数的变化，显示出27天的重复周期。

区域的增加或减少，或是该辐射从太阳朝向地球一面开始的整个通道的变化，而与地面天气条件无关。

一些不知情的无线电操作者经常会对每天10.7cm太阳通量的变化有不恰当的认识，以为它们代表太阳电离通量的重大变化，因而传播条件就会改善。不是这么回事！因为太阳的EUV辐射和不具备电离作用的10.7cm通量这两者之间的关系只是统计学意义上的，是非常松散的联系。

除了10.7cm噪声通量以外，太阳表面上看起来黑暗的区域即太阳黑子，其计数值也是太阳活动的一个指标。在这方面，我们发现有几个在地球表面发生的现象与太阳黑子数有关，如磁暴、可见的极光和长距离无线电通信。举几个“小枪”直接感兴



GOES-7号卫星及其发射纪念封

趣的例子。

由于10.7cm太阳噪声通量和太阳黑子数这两者都提供对太阳活动的测量数据，将它们每天的数值画出来，就可以得出一个太阳活动变化的示意图，也可作为预测将来活动的手段。图1显示了处于20世纪90年代中期经常性活动周期中，每天的10.7cm太阳通量和太阳黑子数。这个图形显示出了太阳黑子数比10.7cm的太阳通量更为不规则。

另一个表示长期太阳活动变化的方法是画出这两个数值的月平均值。月平均值的处理可以平滑数据，至少是对于每日的数据而言，更平滑的表示则涉及到对13个月的平均处理。用图示的方法，1990年6月的平滑均值太阳黑子数（140）是这样得来的：将1990年1月到12月的月平均太阳黑子数，与1990年1月及1991年1月的平均太阳黑子数的各一半相加在一起。最后，1990年6月的平滑太阳黑子数是由将上述和值除以12来获得，这是平滑处理过程中的有效月份数。

使用连续13个月平滑处理得到结果如图2所示，用从1900年开始的月平均太阳黑子数和平滑太阳黑子数（SSN）做个比较。不用说，这种平滑不仅限于太阳黑子数据，现在也用于太阳通量值。然而，相比于太阳黑子数的记录可以上溯到18世纪的中期，10.7cm射电观察则仅始于20世纪二次世界大战之后。

“小枪”知道了太阳周期，太阳黑子数以每11年为周期循环往复地变化。目前（2011年），我们已经进入第24个太阳周期。根据每周的博尔德报告，在已经完成的前21个周期中，平滑太阳黑子数的平均值为111.7，每个周期的长度为11.0年（132.3个月），到达峰值的时间平均为4.29年（51.5个月）而从峰值到该周期的结束时间为6.73年（80.8个月）。

最后一种可以从NOAA获得的太阳数据是在1～8埃波段内的背景X射线通量。它每天由在NOAA PBBS中的太阳数据文件给出。由一个作为乘数的数字和一个代表10的幂的字母（A、B、C、M和X）组成，从A代表1E-8开始。每日的背景X射线通量值与每日10.7cm通量值、太阳黑子数和太阳黑子区域等一道，也包括在博尔德周报的太阳数据概要当中。博尔德周报中还包括一个图，显示每5分钟的X射线通量平均值，图3显示了X射线如何在时间尺度上变化，其中还包括了一个X射线爆发。

X射线数据给出的对于地球很重要的太阳状况，要比观测太阳的可见光频谱好，而且它能给出来自太阳盘面（即太阳面朝地球的这一面，其状如盘，译注）的电离辐射的测量。

不过，博尔德报告中的X射线数据不包含EUV范围的太阳辐射测量数据。然而，1-8埃范围内的X射线光子的能量要超过电离大气成分所需能量的大约100倍，而不是像10.7cm射线那样差了1 000 000倍。

其结果是，在测量来自太阳活动的电离层的电离率时，使用

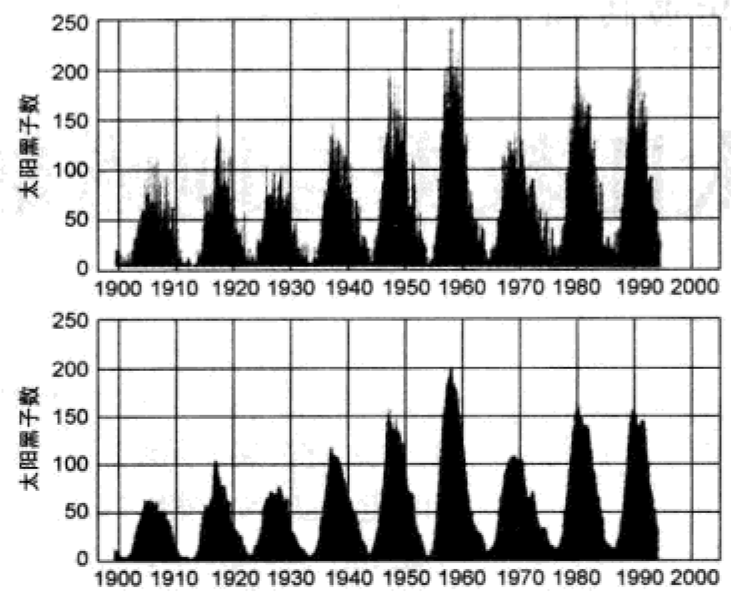


图2 从1900年开始的月平均与平滑太阳黑子数的比较。

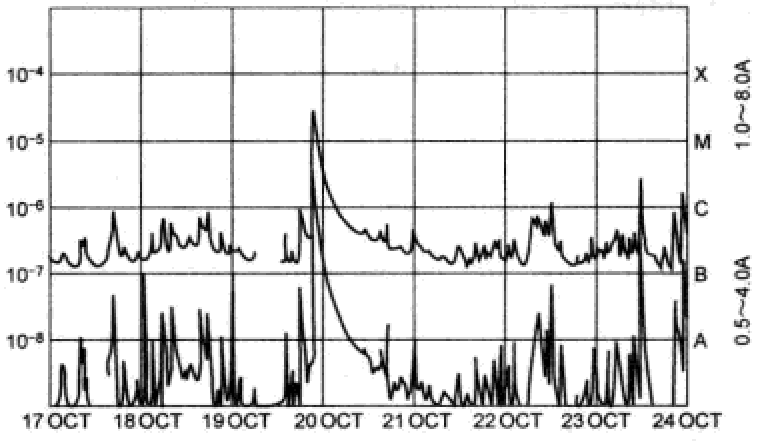


图3 来自GOES卫星的5分钟平均X射线通量，单位为W/m^2。

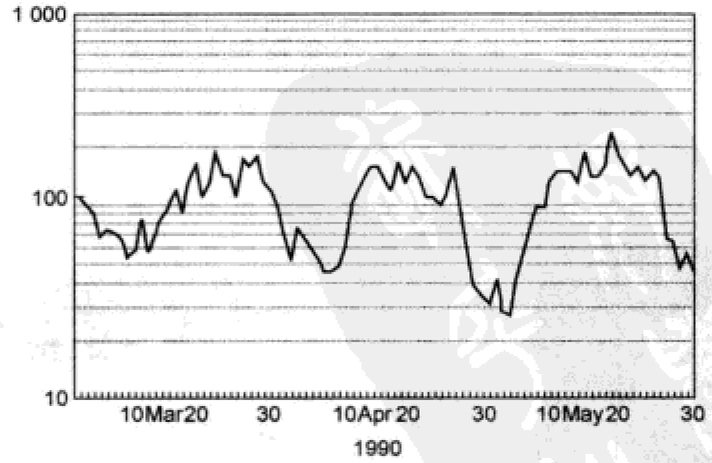


图4 来自GOES卫星的1～8埃的X射线通量变化，单位为W/m^2。

X射线通量会更好。比较在一个太阳活动周期内X射线通量的取值范围，与其他表示太阳活动的指标值(如10.7cm通量和平滑太阳黑子数)的范围，是很有趣的。在这方面，1～8埃的X射线通量在第22个太阳周期内从低谷到高峰变化了大约100倍，背景辐射通量从A级别到达C级别。在这段时间内，平滑的10.7cm太阳通量升高了3倍，从大约70到大约200s.f.u.，而太阳黑子数升高了15倍，从10～150。

在图1所示的时间里X射线通量的变化，重新显示在图4中。正如所期望的那样，它们跟随着10.7cm通量以及太阳黑子变化，但却有一个更大的动态范围。

所有这3个变量决定了太阳朝向地球这一面的活动特征。然而，太阳黑子是位于太阳的表面（光球），而X射线和10.7cm光子则产生于太阳大气中。确实，X射线的爆发可以在（太阳）活动区域的上空产生并被检测到，这些区域可以是在太阳边缘的背面。而与太阳活动爆发有关的射电发射也是一样的情况。

太阳频谱不仅包括NOAA报告中提到的部分，也包括其他的。不过，EUV范围的数据无法从NOAA得到，所以要用上面给出的太阳指标来度量太阳/地球的状况。我们应当记住，D层是由被称为“硬”X射线而产生的，其波长小于10埃，E层则是由“软”X射线产生，其波长范围在10～100埃，而F1和F2层是由EUV范围的辐射所电离的，其波长为100~1000埃。

来自地球磁场的数据

我们从10.7cm可见光和X射线这部分来自太阳辐射的数据，转而谈论地球上磁场状态的数据，这种关于短波传播讨论的转变，是从讨论数天、数周和数月这样缓慢的电离层变化，转变为讨论更加快速地影响短波传播的因素，它们是太阳活动重大变化的结果。当然，这不是说太阳辐射不会有任何导致电离层扰动的一小时左右的快速变化，比如说太阳的X射线爆发，即伴随着太阳上耀斑爆发的短波中断或者电离层的突然扰动。

随着太空时代的到来，太空飞船的观测表明，太空或真空实际上包含了来自太阳的微弱且不规则的磁场，还有星际场强，以及太阳喷发出来的粒子流、电子和中子流。这被称为“太阳风”——有时候是相当稳定的流量，有时则被认为是冲击波。

与地磁活动相关联的电离层扰动，是来自太阳风（或称为太阳等离子体）的变化，这也是其速度增加的结果，它通过星际媒介传播，直到遭遇地球磁场的外围。由这种遭遇而诱发的地磁场变化会扰动或改变电离层。

这可能对“小枪”而言有些惊奇：电离层的电子，由光电离作用而释放出来，不会自由地遵循弹道轨迹，相反，它们在自己的本地环境中运动，并且要经受一个会影响它们运动的磁力，该磁力直接取决于电子的速度和自身所处的地磁场的强度。

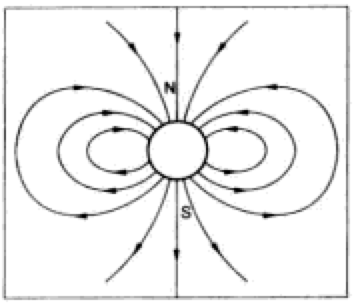


图5 双极磁场的磁力线示意图

如果电子的速率垂直于地磁场，该力量的大小由该电子的电量(e)，速度（v）和磁场强度（B）的乘积给出，这些量值都由m.k.s.（米-千克-秒体系，译注）单位表示。磁力的方向垂直于速率和场强矢量的平面。电子围绕着（不是沿着，请注意二者的区别。译注）磁力线按圆形路径运行，其角速率等于电子的电量（*e*）和场强（*B*）的乘积，然后除以电子的质量（*m*）——*eB/m*。

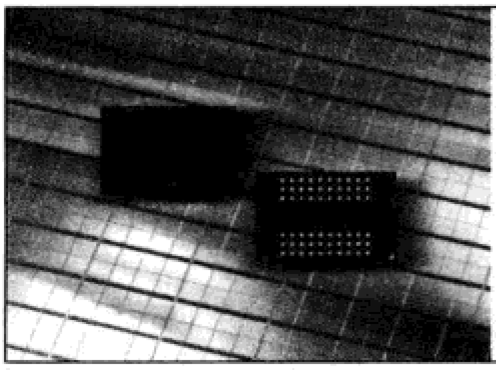
在典型的地磁场场强下，这个角速率大约是8.8E+6弧度每秒。当转换为围绕着磁力线每秒的转数或运动的圈数时，它被称为电子的旋转频率，大约为1.4MHz。应该记住这个数值，以便以后参考，因为当一个信号的频率(*f*)接近或者相当于电离层电子的旋转频率时，地磁场对传播的影响会变得更重要。

当然，光电离作用释放电离层电子时，其速率不一定是垂直于本地的地磁场。这种情况下，电子按照一个比率围绕着磁力线做螺旋运动，该比率取决于其速率垂直于磁场的部分。另外，电子沿着（注意不是围绕着，译注）磁力线前进，螺旋着上下翻飞，其速度等于电子的速率沿着磁场方向的那一部分。确实，如果其速率是平行于磁场方向的，它就既不会螺旋运动也不会经历任何磁力，只是沿着磁力线滑行了。

在关于地磁场的形状上，“小枪”应当关注一下“双极磁场”，它具有如图5所示的磁力线。地球上的双极磁场的对称磁轴和地球的自转轴是不重合的。事实上，双极磁场轴和地球自转轴都会在地球表面上“漫游”。目前，磁轴相比地球的自转轴倾斜了11.5°，在接近北纬78.5°、西经69.0°和南纬78.5°、东经110.0°这两处穿过地球表面。这意味着地球磁场的赤道相比地理赤道也倾斜了11.5°，并在东经21°和西经159°处穿越后者。

不过这个由来已久的双极模型，仅仅给出了实际地球磁场的一个粗略的近似情况。它在中低纬度，的确具有非常良好的近似，但在高纬度以及太阳等离子体通过地球时产生的效果会有很多不一样的情况，本文就不再赘述。

地磁数据主要源于太阳的扰动数据。与太阳辐射数据一样，它的主要来源是位于美国科罗拉多州博尔德的NOAA，信息获取方式与太阳数据获取的三种方式一样。这三种数据来源全部给出同样的信息，每天24小时的A指数值和3小时的地磁扰动K指数值。这些数值是基于来自磁感应器的数据，也称为磁力仪，它们在地球上的数个地方连续地跟踪地球磁场的强度和方向。因而，它们可以获取地磁场静态水平的信息，比如北面的地磁场分量，朝向东面和垂直方向上的，还可以观察出由于扰动而引起的从这



封装的世界（下）

◎杜洋

大家好呀，又见面了。上期杂志中，我们谈到了关于封装的发展进程，介绍了几种常见的封装形式，主要是器件和芯片类的封装。我不知道你看过之后有何感想，至少我自己感觉写得很好，哈哈。妈妈提醒我不要骄傲自满，我也要提醒你不要满足现状，因为封装的世界远远不止这些。除了有电阻、电容这样的元件封装没有讲之外，还有一些与封装有着密切关系的内容也没有讲到，比如封装的焊接方法、封装的PCB设计。这些内容虽是“花边”，可却是一名电子爱好者必备的常识。相信我，无论你是刚刚入门的毛头小子，还是满头银发的“武林高手”，下面的文章定会让你或多或少学到一些东西的。来吧，不要转台，继续看。

小封装的世界

哎，有些人天生就是配角的命，有些元器件也是这样惨。就好像电容、电阻吧，他们自己构不成什么电路，可是电子世界里少了它们又不行。他们是“跑龙套”的，也是幕后默默付出的工作人员，除了可以得到奥斯卡最佳配角奖之外，可能没人会重视它们，所以关于小元器件的封装也没那么多花样。下面我们把话说得具体一些吧，我所说的常用元器件指的是电阻、电容、LED、二极管、电感等（还有一些类似的东西，我一时想不起来了），这些元器件大体分为直插（DIP）和贴片（SMD）两种封装。

在电阻的封装图片（图1）中，中间花花绿绿、两侧有长长引脚的就是直插式电阻，图中右侧黄圈（如果印在黑白页面上就是黑圈了，呵呵）里的小点点其实就是0805封装的贴片电阻了。看看它们的体积差距多大呀，所以当你的制作中通过电阻的电流不大时，请尽量选用贴片的吧。电容封装的差距更是夸张，从图2右边的独石电容、电解电容、瓷片电容到最右边的贴片电容，你可以发现，直插元器件的封装很不规范，大小、形状各异，而贴片元器件则显得标准化一些。贴片的电容、电阻从外观上看好像差不多哦，这是为什么呢？

直插式的电容、电阻的封装算是比较原始的了，今天的样子和20年前没什么区别。当初设计这种直插封装的时候，生产的技术和工艺并没有现在这么先进，设计师们主要是从生产方便的角度去考虑的，怎样的封装形状更方便生产过程的加

些水平上的偏离值。平均来说，3小时*K*指数的范围是从表示平静的0到表示极度扰动的9，而24小时*A*指数的范围是从0（很平静）到400（极度扰动）。

在每小时整点后第18分钟的WWV广播里，最新的3小时K指数由位于科罗拉多州博尔德的地磁仪报告。地球A和K指数的估计值是来自于西半球的一组5个磁场观测站，从阿拉斯加一直延伸到英格兰。这些数值用作地球指数（*Ap*和*Kp*）的近似值，每个月从对来自13个观测站的数据进行分析而产生，其中11个在北半球2个在南半球。地球A和K指数的估值是实时产生的，而实际地球指数Ap和Kp，则是每个月末产生的，要等到广泛分布的观测站网络的数据全部收集齐之后。

NOAA PBBS上的地磁数据分为两个文件——太阳报告和传播报告。来自PBBS的太阳报告和传播报告与每周博尔德报告的不同之处在于，它们提供了10.7cm太阳通量的预测值，以及地磁活动和后面3天内中纬度和高纬度磁暴的发生几率。

领会太阳和地磁数据，懂得太阳/地面的状况和对传播有不利影响的变化，特别是由小磁暴到大磁暴这样的磁场活动的增加，这些对短波通信会很有帮助。

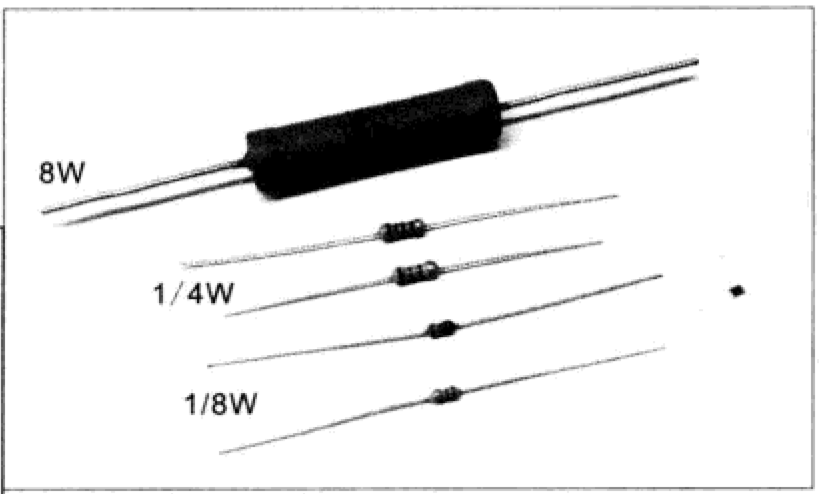


图1 电阻的封装

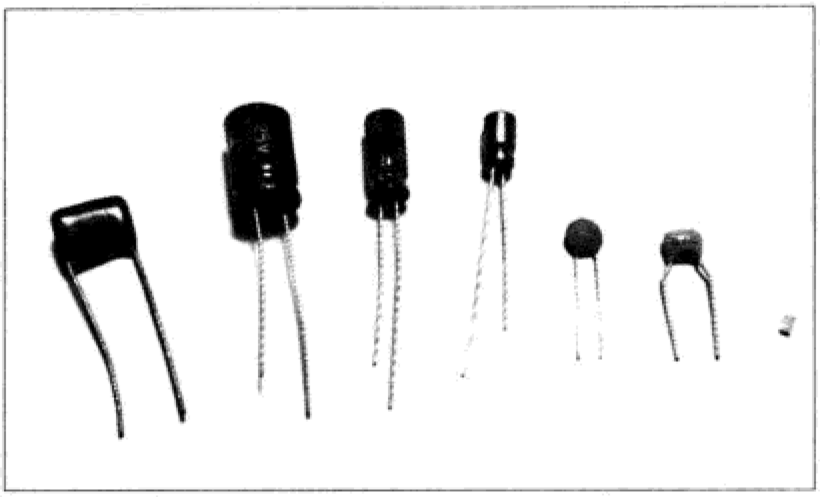


图2 电容的封装

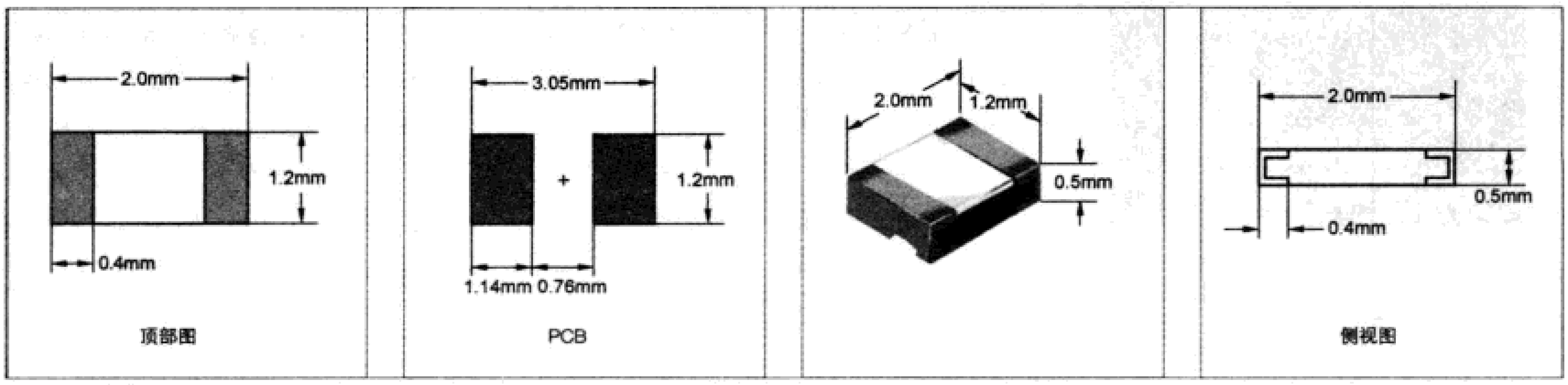


图3 0805封装标准尺寸图

工就怎么设计。例如，直插电阻的柱体都是圆柱形的，这就是为了方便镀膜的切割（如想了解电阻的生产方法，请参见我的另一篇文章《电阻使用心得》）。生产出来的直插元器件再插在电路板上时就要为它们的差异付出代价了，印制电路板（PCB）的设计者要为不同形状的元器件做大量的引脚过孔。想更换不同参数的元器件时，如果封装不同还要重做电路板。但即使这样，大家还是很开心的，因为相对于形状规范却要增加生产成本和难度来说，让PCB设计师多画几个封装更合情合理。后来呢，当贴片封装出现的时候，生产工艺已经达到相当的水平，工厂可以制作精致、小巧、低成本的元器件，且同时能保证它们具有标准的封装样式。这可真是太好了，我们要好好感谢一下工业革命和生产技术的迅速发展。

表1 贴片封装型号与尺寸关系

型号	长度与宽度尺寸（mm）
0603	1.6×0.8
0805	2.0×1.2
1206	3.2×1.6
1208	3.0×2.0
1210	3.5×2.8

贴片电容、电阻的封装一般用4位数字表示，如0805、0603。0805表示的是封装的长宽尺寸是0.08英寸×0.05英寸，换算成国际单位就是2.0mm×1.2mm。大家可以看一下0805封装标准尺寸图（图3），再看一下贴片封装型号与尺寸关系表，表中列举的是常用的封装型号，并不是说贴片封装只有这几种型号哦，大家也没有必要熟悉所有的封装型号。体积较大的封装是用于阻值或容值较大的电阻或电容，这一点和直插元器件一样。

封装与PCB设计

我们什么时候最能想到封装的重要性呢？我想是在设计、制作电路板（PCB）的时候。当我们在软件里把原理图转换为PCB图时，下一步要考虑的就是封装，但是这时的考虑和之前我们讲到的那些关于封装的属性是不同的。之前我们更关注的是封装的材质、外观、结构，但在设计、制作PCB时我们更关注的是引脚的数量、位置、间距等问题，因为我们需要为芯片引脚制作一个底盘，把电路板和芯片安全有效地结合在一起。

我们以最常用的PCB设计软件PROTEL99为例，它的内部提供了一套封装库，包括了常用的直插和贴片元器件。在设计PCB的时候，我们一般都是先有元器件实物，然后再去寻找封装库里是否有对应的标准封装。如果有就可以直接使

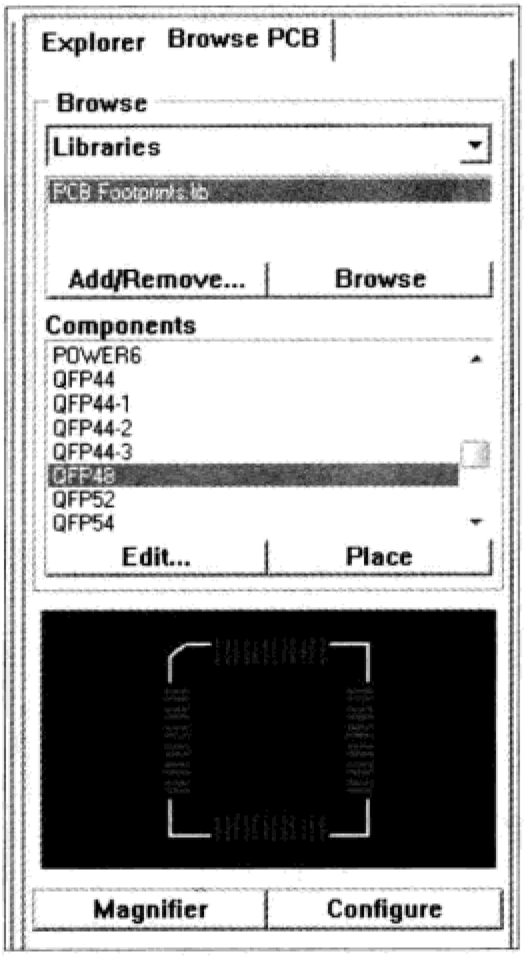


图4 PROTEL99的封装库

用，封装库里的命名都是和我们上一期中封装的标准名称是一样的（或者有小小的差异），选中它并观察显示的图样是否与元器件实物的引脚焊接关系对应，见图4。如果没有现成的封装则要自己去制作新封装，但是一般情况下你可以先在网上找找，只要知道你手上拿的元器件实物大概是什么东西，你就可以在网上找到标准的封装或别人之前做好了的封装，当什么都找不到时再去自己制作新封装比较好。关于PROTEL99软件中封装的制作方法可以参考相关书籍，这里不再赘述。

封装与DIY焊接

好了，我们已经了解了芯片封装和电容、电阻等元器件的封装，也在PCB设计软件中使用它们了，下面要做的就是把它们焊在电路板上。封装的焊接大体分两种，各位读者朋友，你一定以为我会说是直插封装焊接和贴片封装焊接吧。如果这么容易被你们猜到，就显得我太没创意了，瞎编也得编出不一样的答案出来，呵呵。其实大家仔细想一想，我们焊接直插的电容和焊接贴片的电容，从焊接手法上有很大差异吗？我们来看看到底有多大差异。

直插焊接是先把元器件从PCB的正面插好，然后在背面将引脚向两侧弯曲，目的是为了防止元器件自由活动。然后把电烙铁的尖头放在引脚和焊盘上加热，另一只手拿锡线，趁机加在引脚和焊盘间（所谓“趁机”是一种只能意会的东西，多焊几次，有了经验，就可以掌握好时机了），就这样反复，直到把所有引脚焊完。

贴片焊接是先在其中一个贴片焊盘上加锡，然后一只手拿烙铁熔化那个焊盘上的锡，另一只手用摄子夹住芯片慢慢地推入焊盘并定位。最后用焊接直插元器件的方法一个一个地焊接所有引脚。这种焊接贴片元器件的方法看似没什么问题，可是当芯片的引脚变密时，我们还可以用这个方法吗？显然不行，当封装型号的前缀变成QFP时，焊接就变得复杂了。之前的焊接方法会让距离很近的几个引脚同时挂锡，造成短路。这时我们就需要另一种焊接方法——密脚贴片元器件的焊接方法。

这就是我区分的两种焊接方法——疏脚元器件焊接和密脚元器件焊接。如果把疏脚元器件焊接用逐个攻破的战术来比喻，那么密脚元器件焊接就采用“置于死地而后生”的策略了。方法是这样的，首先我们先在其中一个贴片焊盘上加锡，然后一只手拿烙铁熔化那个焊盘上的锡，另一只手用摄子夹住芯片慢慢地推入焊盘并定位，再用锡把芯片同一侧容易短路的所有引脚都短接上，把它们“置于死地”，形成一个大锡块。接下来，用刀形烙铁头加上松香，轻轻地熔化大锡块，这时会有一小部分锡粘在刀形烙铁头上了，把烙铁头上的锡在小海绵上擦掉，再加上松香，再熔化刚才那个稍微小了一点的大锡块。这就是“后生”的过程了。反复不断地操作，锡块越来越小，直到没有引脚短路。这种方法只是密脚芯片焊接的方法之一，我之所以介绍这种方法，是因为它更易学、易用，不需要有太多经验，更适合初学者。

关于焊接的方法，一句两句还真是说不明白，本来想在杂志的纸页上插入显示屏幕了，可以在纸页上直接播放焊接方法的视频，让大家更直观的学习焊接方法和技巧，可是又怕大家在杂志上看视频而不去上《无线电》的网站了。为了增加网站的点击率，我还是决定把我精心准备的焊接教学视频放在《无线电》杂志网站上播放，杂志上只给出观看的地址，这样一举两得。焊接教学视频观看地址：www.radio.com.cn。

封装与生产焊接

以上这些电阻、电容、DIP芯片、QFP芯片是我们可以焊接的，可是还有一些是我们电子爱好者没有办法在DIY情况下焊接的，它们就是拥有更多引脚的BGA、COB封装。其中，BGA封装还是比较亲民的，我听说有一些手机维修高手仅用一台热风枪就可以装、拆BGA芯片，真是太给力了。而COB封装非常死板，黑黑的胶体里面藏着一颗脆弱的芯，它是在工厂里直接将晶片固定在PCB上，然后通过显微镜人工操作，把晶片上的接口用金属丝引到PCB的电路上，最后用一大块坚固而密封的黑胶包起来。在工厂里制作成形后就再也动弹不得了，一旦损坏，就只能更换整个PCB了。

BGA封装是不适合手工焊接的，因为崭新的BGA芯片的引脚是在底部非常微小的焊盘，焊接时首先要清洁焊盘，然后在

所有焊盘上加上助焊剂，再一个一个地在所有焊盘上放一粒小小的锡球（这个操作叫植球，见图5）。把放好锡球的BGA芯片送入回流焊机，出来时锡球就焊在BGA底部的焊盘上了。最后把植好锡球的BGA芯片准确地放在PCB上，再送入回流焊机，再出来时BGA封装的芯片就焊上了。

焊是焊上了，可是BGA封装不像其他封装那样引脚在四周，BGA底部的引脚一旦焊上就看不到了。那我们怎么知道焊得好不好呢？奢侈一点的方法是拿专用的X光或超声波设备来透视检查，简单的办法就是测试一下电路板的功能是否正常。如果万一不小心把芯片里的电源短路了，一上电把芯片烧了怎么办呢？这样的检测问题一直是BGA封装设计的硬伤，目前还没有好的解决办法。如果这块电路板对你非常重要的话，我建议你在上电之前去给它买一份人寿保险吧！好多视频分享网站上都有一些“牛人”用纯DIY的方法来焊锡BGA芯片，技巧很高超，有兴趣的朋友可以在网上搜索“BGA焊接”，也许照此多练习也可学会，可是一旦损坏就是好几百块哦。

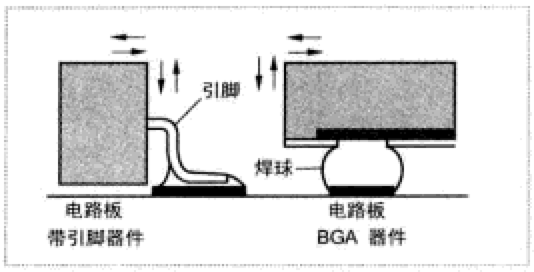


图5 QFP与BGA封装的焊接对比

封装的第三世界

封装的世界里还有另类的成员，它们有的不是正规的封装，有的是封装相关的辅助工具。这些被人们忽视的角度，就是封装世界里的第三世界。

首先我们来说说灌胶封装（图6）吧，还有一些和它相似的大体积元器件的封装。比如我们常见的继电器、DC-DC电源模块，这些封装是把一大块机械结构或电路板整体放入一个外壳中，再把胶体灌到里面，使之坚固又密封。生产厂商为它们制定了外形尺寸，所以它们也算是标准封装了，只是在认识上我们常忽视它们罢了。

还有一些服务与封装的工具，我这里也简单地说一下吧。在DIP封装里，我们最常用的就是芯片座了，芯片座是为了方便芯片拆装而设计的，使用了芯片座我们就可以在芯片损坏时很方便地用“芯片起拨器”进行更换，而不需要焊接。还有一种带手柄开关的活动式芯片座（图7），一般的单片机开发板上都用这种东西，它大多应用在芯片的批量测试和烧写上。除了DIP封装的芯片座外，还有一种更高级的贴片芯片测试座（图8），之所以说高级，是因为它有着让人难以理解的高价格。一件镀金触点的LQFP48封装芯片的测试座就需要200多元，如果是BGA封装的，则可以达到800元以上，比芯片还要贵上几倍。有了这种芯片座，我们就可以把贴片芯片的引脚变成直插引脚，在芯片的批量测试和开发中都很实用。

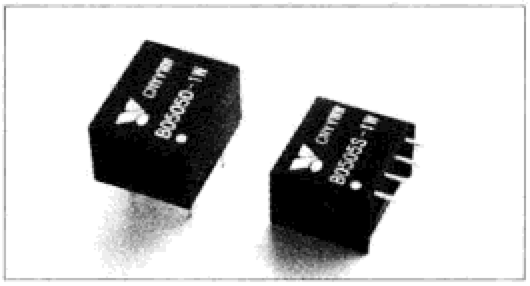


图6 灌胶封装

我以上讲了这么多关于封装的世界，可是还是没有办法全部讲到。封装是个小世界，而我的文章是一个故事，故事都会有自己的视角和主线，再详细也不能概括这个世界。不过，我所讲的这些知识和经验，对于一名电子爱好者来说已经足够了。细心的你可能会发现，我讲的虽然是封装，可是却涉及了好多别的东西。是的，其实我是在从封装的视角去讲电子技术的故事，让你知道原来电子技术的发现曾受到封装技术发展的阻碍，原来封装技术的发展也是电子技术发展的重要组成部分。当你意识到这些，这篇文章就达到目的了。哈哈！

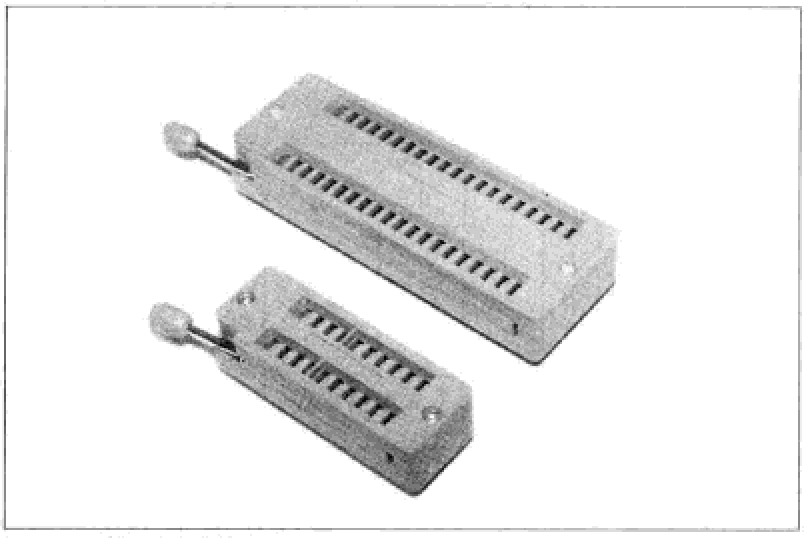


图7 DIP封装活动式芯片座

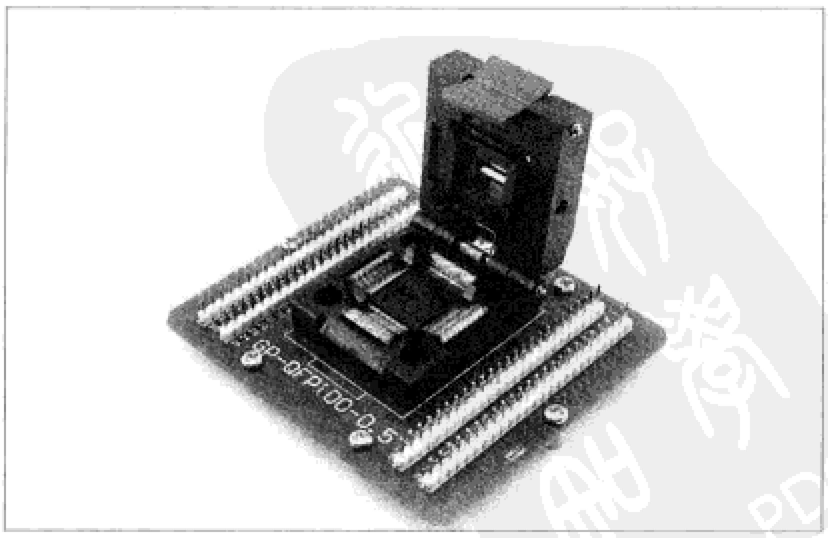
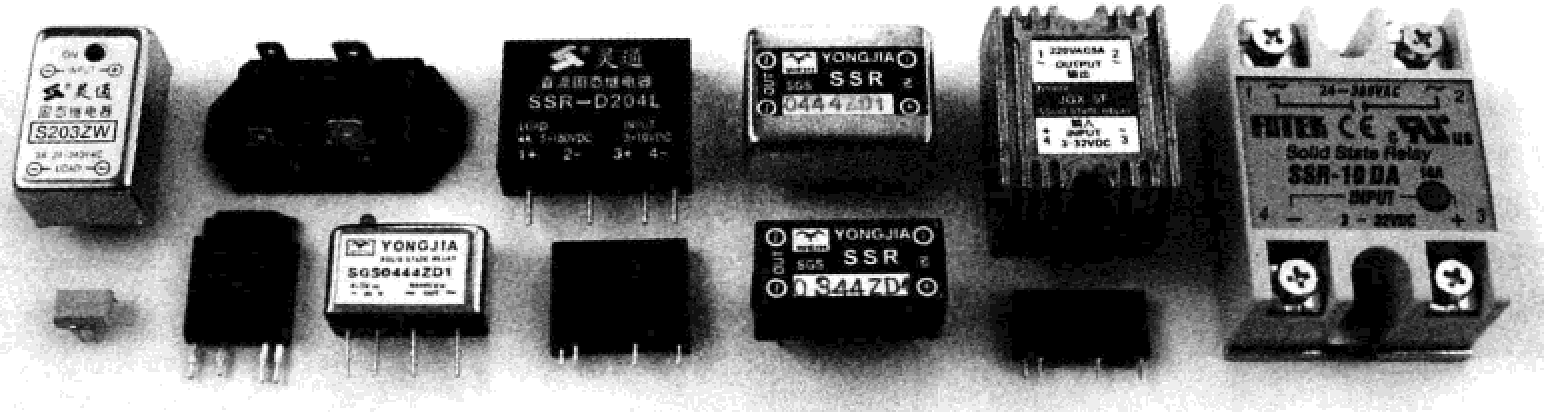


图8 芯片测试座

常用元器件的识别与使用（22）

◎张晓东



没有触点的固态继电器

固态继电器（Solid State Relay）简称SSR，是一种由集成电路和分立元器件组合而成的“一体化”无触点电子开关器件，它采用电子线路实现继电器的功能，依靠光电耦合器（或其他耦合方式）实现控制系统（输入回路）与被控制系统（输出回路）之间的电气隔离。由于在开关过程中无机械接触部件，因此具有控制功率小、可靠性高、寿命长、无噪声、无火花、无电磁干扰、开关速度快和工作频率高等突出优点。

固态继电器自1974年问世以来，已在许多自动化控制装置中取代了电磁继电器，并且广泛用于电磁继电器无法应用的领域。

结构及原理

常用固态继电器几乎都是模块化的四端有源器件，其中两端为输入控制端，另外两端为输出受控端，其基本构成如图1所示。器件中多采用光电耦合器实现输入与输出之间的电气隔离。输出受控端利用开关三极管、双向晶闸管等半导体器件的开关特性，实现无触点、无火花地接通和断开外接控制电路的目的。整个器件无可动部件及触点，可实现相当于常用电磁继电器一样的功能。

普通固态继电器的内部等效电路如图2所示。当给固态继电器的输入端IN接上合适的控制信号时，其输出端OUT就会从关断状态变为导通状态。控制信号撤消后，输出端OUT恢复关断状态。从而实现了对输出端所接负载（注意负载应串入输出端回路）电源的无触点“开”或“关”的自动控制。

固态继电器按输出端极性的不同，可分为直流式和交流式两大类。直流固态继电器（DC-SSR）的电路原理参见图2（a）所示，其控制电压由输入端IN输入，通过光电耦合器将控制信号耦合至接收电路，经放大处理后驱动开关三极管VT导通。显然，直流固态继电器输出端OUT接入被控电路回路中时，是有正、负极之分的。交流固态继电器（AC-SSR）的电路原理参见图2（b）所示，与直流固态继电器不同的是，其开关元件采用了双向晶闸管VS或其他交流开关,因此它的输出端OUT无正、负极之分，可以控制交流回路的通断。

由于固态继电器的输入端和输出端之

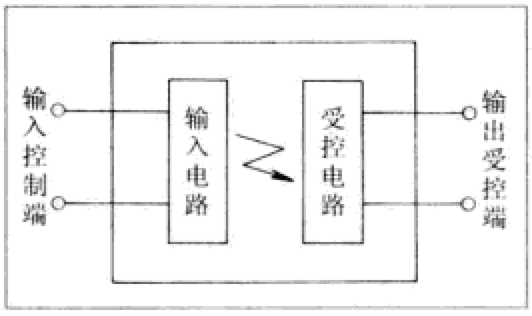
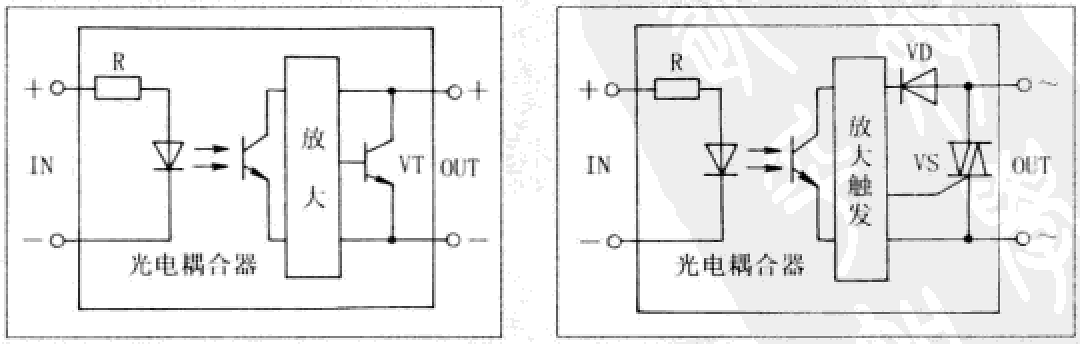
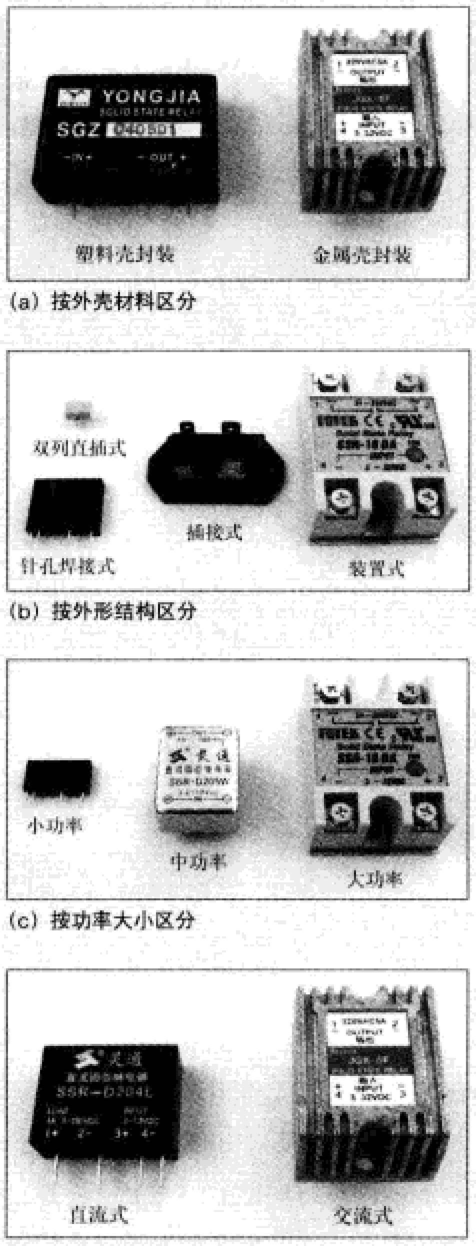


图1 常用固态继电器构成图



（a）直流式　　（b）交流式

图2 固态继电器等效电路



(a) 按外壳材料区分

(b) 按外形结构区分

(c) 按功率大小区分

(d) 按负载极性区分

图3 固态继电器的分类

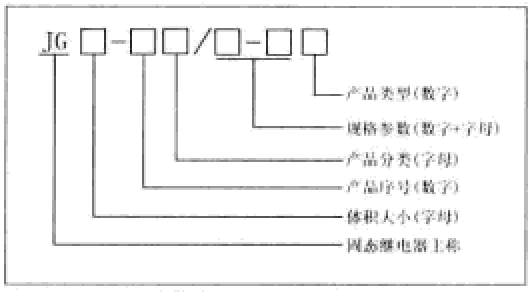


图4 固态继电器的命名规则

间采用了成熟可靠的光电隔离等技术，这使得所接控制弱电和被控强电在电气上完全隔离，因此从各种弱电设备输出的信号可以直接加在固态继电器的输入控制端上，无需另外的保护电路等。固态继电器和传统的电磁继电器相比较，具有的优点是：工作可靠，寿命长，无噪声、无火花、无电磁干扰，开关速度快，抗干扰能力强，体积小，耐冲击、耐振动，防爆、防潮、防腐蚀，能与TTL、DTL、HTL等逻辑电路兼容，可以通过微小的控制信号实现直接驱动大电流负载的目的。正因为如此，固态继电器在很多领域正逐渐取代电磁继电器。但固态继电器也存在一些缺点，主要是输出端在导通时有一定的电压降，即本身有功耗，需采取相应的散热措施，在断开时有一定的漏电流。另外，固态继电器的控制状态比较单一、过载能力差，并且直流继电器和交流继电器不能通用。

外形和种类

固态继电器按封装材料不同，可分为如图3（a）所示的塑料壳封装型（带散热板或不带散热板）、金属壳封装型（多用环氧树脂灌封）两大类，按外形结构不同，可分为如图3（b）所示的双列直插式、针孔焊接式、插接式、装置式等。双列直插式和针孔焊接式的输出端工作电流一般在5A以下，可直接在印制电路板上安装焊接，且不需散热板，其封装形式多为全塑料封装或金属壳封装，插接式须配有专用插接件，使用时只要插入配套的插件即可，装置式适合在配电板上安装，其容量在10A以上，一般要求配有大面积的散热板。

如果按照输出端所控负载功率的大小分类，可分为如图4（c）所示的小功率固态继电器、中功率固态继电器和大功率固态继电器。按照输出端所控负载的极性不同，可分为如图4（d）所示的直流固态继电器和交流固态继电器两大类，其中交流固态继电器应用比较普遍。交流固态继电器按开关方式不同，又分为过零型（Z型）和随机型(P型），按输出开关元件不同，又分为普通型（双向晶闸管输出型）和增强型（单向晶闸管反并联型）。

另外，按照固态继电器内部所采用元器件的不同，可分为分立元器件组装型、厚膜电路组装型、单片集成电路组装型等。按照所采用电气隔离元器件的不同，可分为光电隔离型（包括光电耦合器、光控晶体管和光控晶闸管等）、干簧继电器隔离型、变压器隔离型等。

主要参数

固态继电器的主要产品技术参数分输入参数、输出参数、其他参数三大类。其中，有几个参数需要我们重点关注：

1. 输出电压降和输出漏电流：衡量一个性能优良的固态继电器，这两个值均应越小越好。

2. 浪涌电流：一般交流固态继电器的浪涌电流为额定工作电流的5～10倍（1个周期），直流产品为额定工作电流的1.5~5倍（1秒）。

3. 接通时间/关断时间：这两个时间越短，说明固态继电器的开关性能越好。

型号命名

国产固态继电器最常用的型号命名（部颁标准）一般由六部分组成，其格式和含义如图4所示。第一部分用字母“JG”表示固态继电器，第二部分用字母表示产品的体积大小，其中“W”代表“微型”、“C”代表“超小型”、“X”代表“小型”；第三部分用数字表示产品序号，第四部分用字母表示产品分类，其中“F”代表封闭式交流输出、“FA”代表封闭式直流输出、“M”代表金属全密封，第五部分用数字和字母表示规格参数——头一组数字表示最大输入电压（单位“V”不标出），后两组数为额定工作电流和额定输出电压，第六部分用数字表示产品类型，其中“0”代表过零型、“1”代表“随机（调相）型”，直流输出的产品无此数字。例如：某固态继电器的型号为JGX-IOF/014-40A220V-0,它表示该产品是小型塑封式过零型交流输出固体继电器，最大直流输入电压为14V，

表1 几种常用固态继电器的性能参数

类别	型号	输入参数			输出参数					其他参数	
		输入电压范围(V)	输入电流(mA)	可关断电压(V)	额定输出电压(V)	额定工作电流(A)	浪涌电流(A)	通态压降(V)	断态漏电流(mA)	接通时间(ms)	关断时间(ms)
直流固态继电器	JGC-3FA	3～7	5	0.8	80	1	2	1.5	5	0.1	1
	JGX-5FA（014-5A110V）	3～14	10	0.8	110	5	20	1.3	2	0.02	0.3
	JGX-10FA（014-10A110V）	3～14	18	0.8	110	10	40	1.3	1	1	5
	D204L	3～10	>5	0.6	180	4		1.5	0.1	1	1
	D205W	3.2～32	>5	0.6	180	5		1.5	0.1	1	1
	SGS0305D1	3～16	>5	0.8	50	3		1.6	10	1	1
	GTJ-1DP	6～30	>3		24	1		1.5	10	0.2	1
	TDC10A28V	3～6	<30		28	10		1.5		1	1
	D210K	3～32	>5	0.6	180	10		1.5	0.2	1	1
交流固态继电器	JGC-3F	3～7	15	1	220	1	2	1.5	5	≤10	≤10
	JGX-5F(032-5A220V)	3～32	16～30	1.5	220	5	50	1.5	5	≤10	≤10
	JGX-12F	3.2～8	20	1.5	250	2	20	1.5	5	≤10	≤10
	S203ZA	3～12	>5	0.8	240	3		1.5	1.5	≤10	≤10
	S203PW	3～12	>5	0.8	240	3		1.5	1.5	≤1	≤10
	SGS0344ZD1	3～16	>5	1	240	3		1.6	≤10	≤10	≤10
	SGS0444ZD1	4～5	>5	1	440	4		1.6	≤10	≤10	≤10
	GTJ-1AP	3～30	<30		220	1		1.8	<5		
	JGX-1533F	3.2～14	16		220	10		1.5		≤10	≤10
	SP1110	2～6	10～50		600	3	15		≤1		
	TAC08A220V	3～6	<30		220	8	80	1.8		≤10	≤10
	HSA208ZK	3～32	>5	0.8	240	8		1.5	10	≤10	≤10
	HSA208PK	3～32	>5	0.8	240	8		1.5	10	≤1	≤10

额定工作电流为40A，额定输出电压为220V。有时在电路图等资料中型号的后三部分被省略，仅标出前三部分。

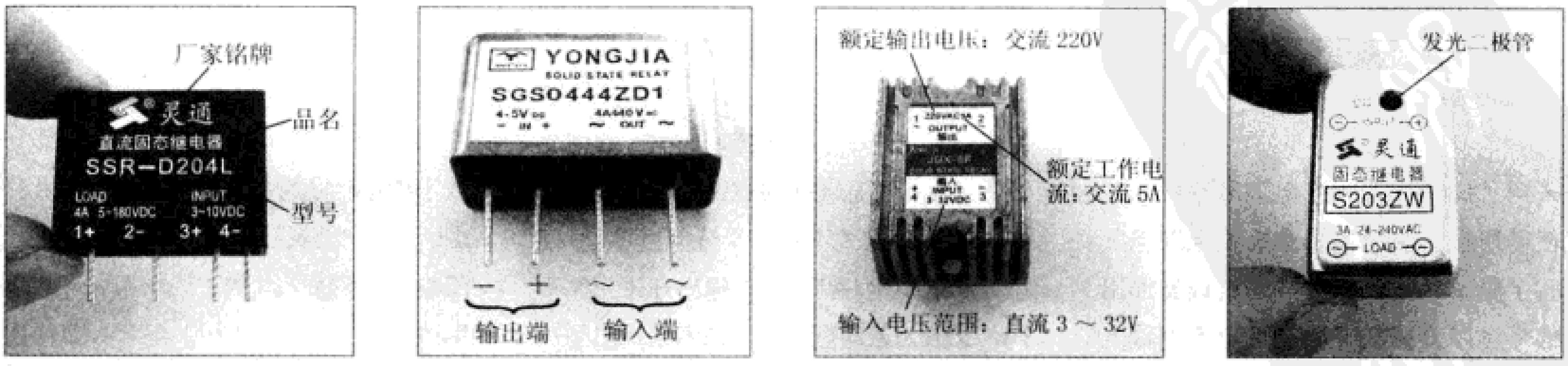
目前，国内外固态继电器的型号命名方法五花八门，即使是国内各厂家的产品，往往在型号命名及规格标志上也存在很大差异。表1给出了几种常用固态继电器的型号及性能参数，仅供参考。

固态继电器的型号中包含了产品的主要特征和重要参数信息，由于各厂家对产品型号命名的方法不统一，给使用带来了一定的不便。这就要求使用者在选用固态继电器时，必须认真查阅厂家说明书，搞清楚产品的命名方法，弄清楚主要电气参数，确保正确合理地使用。

产品标识

常用固态继电器都是四端器件，其外壳除了标出图5（a）所示的产品名称（有时用字母“SSR”表示）、型号、厂家铭牌外，还多将引脚功能直接标示在外壳上，如图5（b）所示。体积较大的大功率固态继电器，不仅标志出了引脚功能，而且还将输入电压范围或输入电流、额定输出电压和额定工作电流等参数直接标示在相应的引脚附近，如图5（c）所示。

有些固态继电器的外壳上面还开出了一个小圆孔，并露出红色发光二极管的管帽，该发光二极管多系输入端工作状态指示灯，这是普通电磁继电器所没有的，如图5（d）所示。如果需要了解更详细的参数和性能特点等，就得查阅厂家产品说明书或固态继电器产品手册。

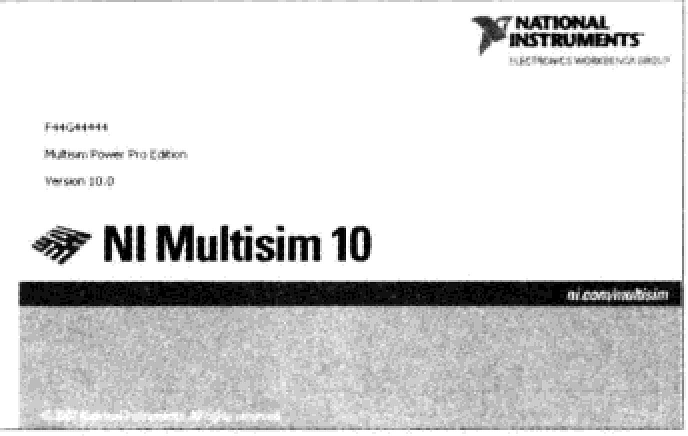


（a）看型号 （b）分引脚 （c）知参数 （d）识指灯

图5 固态继电器的识别方法

电子电路仿真和设计软件
——Multisim篇

◎李文卿



软件介绍

Multisim是美国国家仪器有限公司(NI)推出的一款以SPICE仿真器为核心的电子电路仿真工具。它以操作简单、功能强大的优势被广泛用于电路EDA设计中。现在高校《模拟电子技术基础》课程中的部分电路也使用了Multisim做验证实验。所以，无论是学习还是在计算机辅助设计方面，Multisim都有非常出色的表现。

Multisim可以进行模拟电路、数字电路、单片机、CPLD&FPGA的仿真，可以进行模拟数字混合仿真，并且相关的库支持也相当丰富，这就使得它具有了很多跨平台仿真测试功能的延伸。

Multisim的功能强大，仿真设置选项也很多，因为影响电路运行效果的因素是非常多的，为了能更接近现实情况，就不得不添加许多的因素设置选项，如温度、噪声、工作点等。然而难能可贵的是，这样一个复杂的仿真工具对于新手入门来说却是异常简单。它有许多直观并且方便操作的工具，而且大多数情况下仿真使用默认配置就可以了，并不需要我们改动设置，只须在画好电路图以后按一下仿真按钮，就像接通电源开关一样就开始仿真了。

我使用的是Multisim10.0版本，Multisim的高版本也能够兼容低版本工程，所以只要你使用的是Multisim10以上的版本都能打开我随本文提供的工程文件，本文中使用的工程文件都在Multisim_Project这个文件夹中，有兴趣的读者可以到《无线电》网站上下载运行。界面主要可分为主菜单、工具栏、元件库、画图区、仪表栏等，如图1所示。主菜单中有文件、编辑、显示、放置、MCU、仿真、转换、工具、报告、主题、窗口和帮助，这里面也包含了界面上快捷方式所表示的所有工具和选项。工具栏中有新建、打开、打印、保存、画面缩放、新建元件等工具按钮。元件库选项中分类创建了相关类库的快捷方式，有电源、分立元件、集成电路、处理器、总线等，Multisim极为丰富的元器件库支持也是它被广泛应用的重要因素。

功能小秀

为什么要使用仿真软件呢？准不准确呢?我一开始也很怀疑，电子电路分析很复杂，影响因素也很多，仿真理论值和实际电路效果能够一致吗？后来和Multisim打了一次交道后，我才觉得和它真是相见恨晚。当时我的一个师兄做一个复阻抗检测装置，前级需要一个激励源放大电路，把正弦波放大5倍。实验室有LM324运放，于是就拿来做了个最简单的放大电路，电路如图2所示。

这是一个最简单的同相放大电路，信号由IN输入，经LM324放大5倍后由OUT

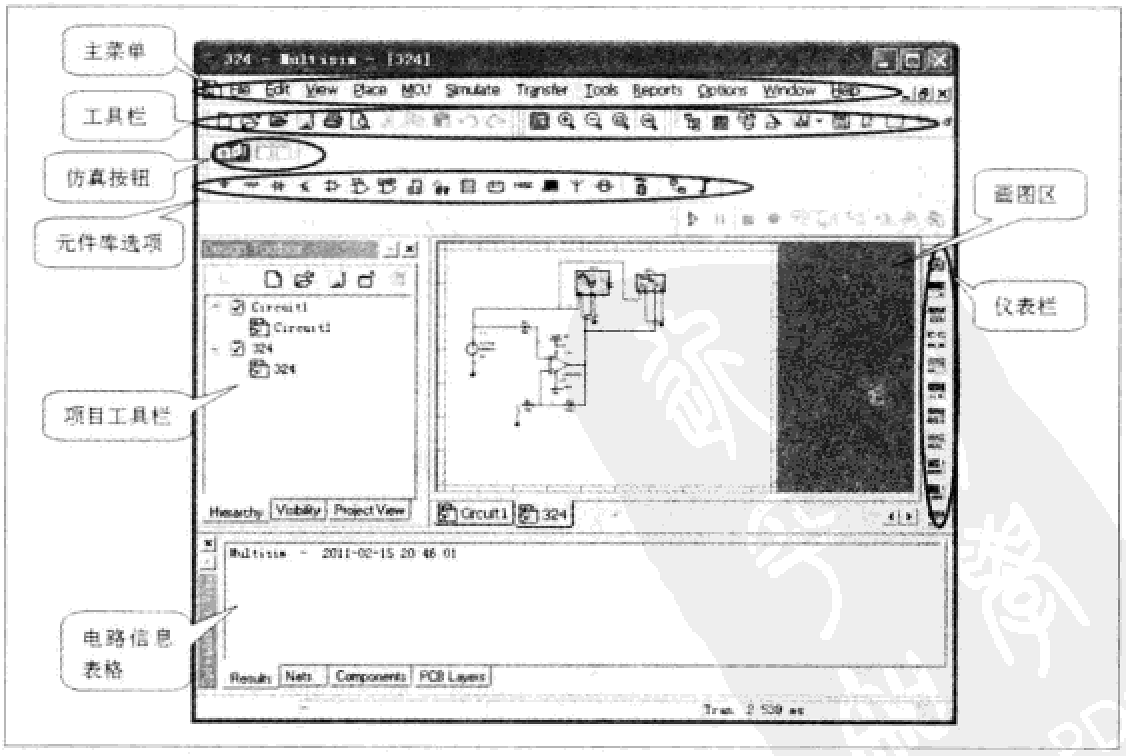


图1 Multisim界面

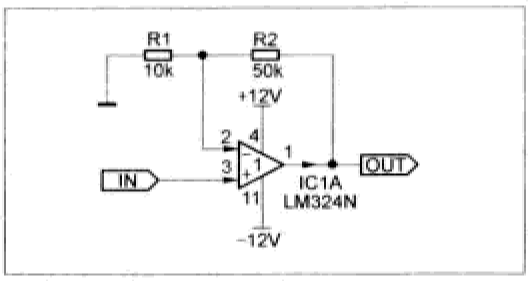


图2 放大电路

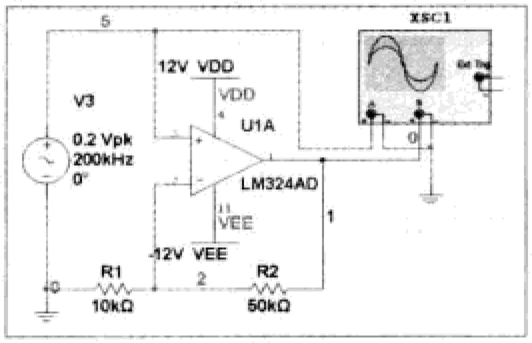


图3 Multisim软件中设计的电路

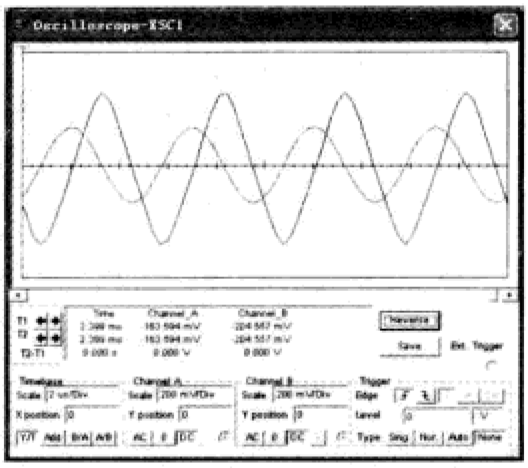


图4 软件中的仿真波形

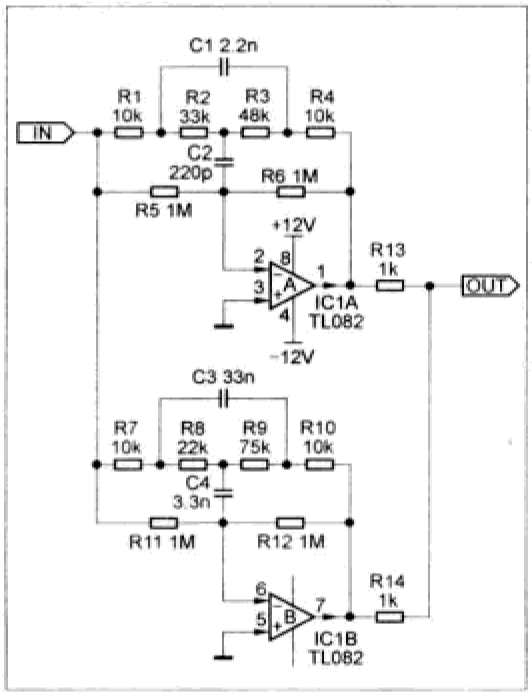


图5 人声增效电路图

输出。我们做好了电路后接上信号源观察波形，发现输出的波形是三角波，而且是很规则的三角波。我们当时首先就想到可能超出了运放带宽，可是超出带宽怎么会成这样的三角波呢？后来又通过波形双踪对比，发现相位也有偏移，这就更肯定是增益积溢出造成的，但是我们对为什么会产生这么奇怪的三角波一直搞不清。正好当时NI公司做培训，送给了我们一套试用版的Multisim，我就想试一下，看看仿真结果如何。用Multisim搭建的电路图如图3所示，V3是幅值为0.2V、频率为200kHz的正弦波信号源，IC1为LM324，后面的XSC1是双通道示波器。将输入信号和输出信号接到双踪示波器里，运行仿真按钮以后，仿真的结果如图4所示。

仿真结果和实际效果十分接近，相位发生了偏移，放大的波形畸变成了三角波，似乎还很整齐。这个结果让我十分兴奋，Multisim对电路的仿真效果是值得肯定的。此后做模拟电路的时候，我都事先用Multisim模拟一下，既能观察一下预期效果，有时还能帮助设计，感觉真的很受益。

上面的例子其实不用Multisim也能分析出来，因为这个电路比较简单，通过查手册就能很容易算出参数，找出问题所在。但是如果是一个比较复杂的电路，计算的工作量就比较大了，而且算出的结果不一定理想。模拟电路有些元件不可能做到非常精确，而有些原理对参数又很敏感，做实验时不容易得到理想结果，往往需要很多重复性的实验来调整参数和电路，这也正是模拟电子的“玄妙”之处。

学以致用

上一个例子虽然已经让大家领会到了使用仿真软件的优势，但还不能体现出Multisim在具体辅助设计中的作用。使用仿真软件可以使你在电路设计之初就能进行效果仿真和参数配置分析，在电路分析基本功不是很强的情况下，软件仿真更能帮你在一定程度上理解电路的原理。我们可以通过下面的例子加以说明。

图5所示为我在网上找到的一个常用的卡拉OK声音前级处理电路，是一位音响工程师分享的自己的得意之作——高性价比的卡拉OK人声增效电路。设计者说当年他使用这个电路对话筒放大信号进行处理，功放出来的效果可以和当时的高档音响相媲美。此电路的原理是，由两个结构相同的、带放大的高阶带通滤波器并联使用，利用叠加原理产生两个通频带，让需要增强的特定频率声音处在频率响应的峰值。一个将150Hz处的频率提升，使人声变得丰满。另一个将2400Hz处的频率提升，使人声变得明亮，齿音也得到了很好的表现。效果的提升是基于声学知识中声波的音感分析原理。

像我这样的发烧友得到了这么好的东西自然是十分兴奋了，就打算DIY一个这样的前级滤波电路。但是这个电路到底效果怎么样，真的像作者说的那么神奇吗？我不是专业搞音响的，对于能不能达到那种效果无法做出预测，但是我可以分析电路，如果电路的功能跟作者描述的原理一致，那就不妨一试。

这个电路需要保证以下3点：1.需要增强的频率带宽要比较窄，因为声音的频段就很窄，要增强的范围就更小；2.频率响应的峰值要准确；3.无论是增强还是不增强的信号都要能够完整输出。根据这些要求我要先从理论上验证一下电路的性能。在Multisim的元件库中找到电路图中的元件，连成电路如图6所示。其中V1是正弦波信号源，XSC2是双踪示波器，XBP1是波特仪。

Multisim的工具栏选项中有很多虚拟仪器，波特仪就是其中的一种，它是一种检测电路频率响应的工具，在仿真放大和滤波电路中很常用，图标如图7所示。将电路的输入信号和输出信号分别接到波特仪的IN和OUT的“+”端，把两个“－”端接地。使用波特仪时电路的输入端要接

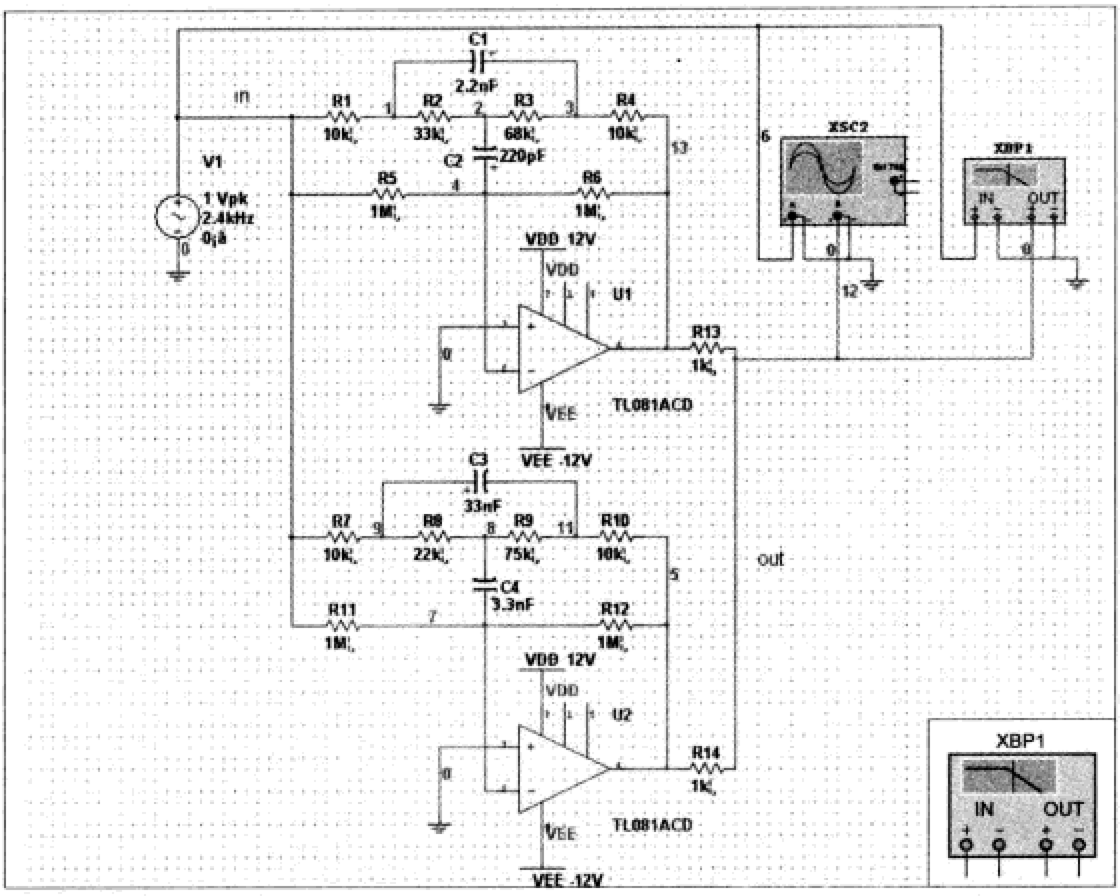


图6 人声增效电路仿真电路

图7 波特仪

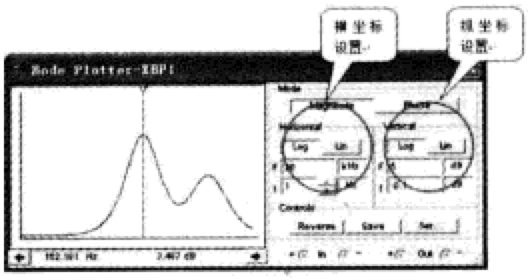


图8 第一个频率响应峰值

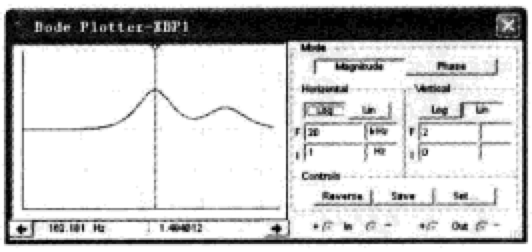


图9 第一个幅频响应波峰

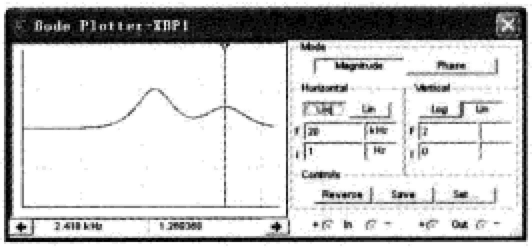


图10 第二个幅频响应波峰

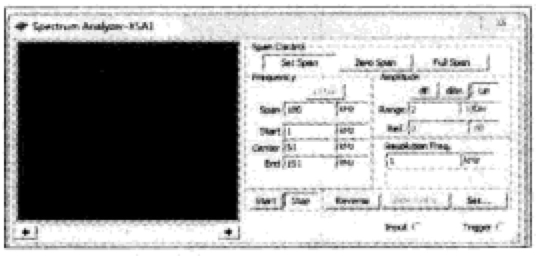


图11 频谱分析仪

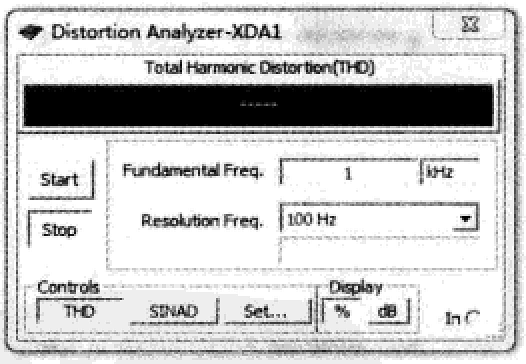


图12 失真度分析仪

信号源，图6所示的电路输入端接入了正弦波信号源，接入信号源后不用设置信号源的频率，波特仪就能生成波特图或是线性的频率响应曲线。

仿真电路做好以后就可以开始仿真了。点仿真按钮则仿真开始，双击波特仪出现如图8所示的控件。坐标设置栏中有量程和表示形式的设置，Log表示对数表示形式，Lin表示线性表示。F和I是量程设置，F表示最大值，I表示最小值。为了突出幅频响应的变化率，先设置频率（横坐标）为对数表示，幅频响应情况（纵坐标）也用对数表示。在波特图中可看到有两个明显的“驼峰”，频率响应曲线存在两个峰值。

对数形式的幅频响应情况不好计算，而且在这个例子中频率响应的跨度也不是很大，我们就把纵坐标设置为线性表示，横坐标的量程设为1Hz ~20kHz（我们能听到的声音频率是20Hz~20kHz），幅频响应的量程设为0~2（值为1时输出信号的幅值等于输入信号），结果如图9和图10所示。

图9中用标尺取得了第一个幅频响应波峰的数据，频率是162.181Hz，放大的倍数是1.49。图10中用标尺取得了第二个幅频响应波峰的数据，频率是2.418kHz，放大的倍数是1.27，其余部分的放大倍数是1。从频率响应的情况来看，确实起到了特殊频段语音增强的效果，因此从原理上来说这个电路行得通，而且取得的效果比较理想。

通过上面的例子大家应该对Multisim有了一个比较直观的了解。Multisim还有许多功能模块，诸如频谱分析仪（如图11所示），失真度分析仪（如图12所示）等，我不能在这里一一列举，一方面是限于篇幅，另一方面是我自己也不是高手，我写这篇文章的目的就是“煽动”，让大家都体会到仿真软件的实用性和准确性，熟悉工具并利用好工具会使我们做事更加高效。Multisim的应用入门虽然简单，但是要想精通使用也不是一件容易的事。首先是其功能比较多，要学习了解的软件内容多，其次涉及的专业知识面也很广，需要有一定的基础知识和专业知识。

关于Multisim的学习，大家可以在NI的官方网站中国首页下载Multisim的使用手册和技术资料，也可以下载评估版体验。网上也有很多Multisim的教程和技术论坛，学习起来应该是比较容易入门的。

◎姚宗栋

天籁之音

人类美好的追求（1）

当你打开电子贺卡，耳边荡漾起那优美动听的乐曲；当你接通手机，听到亲人熟悉亲切的声音；当你打开电视机，欣赏声图并茂的精彩节目；当你闭着眼睛，陶醉在Hi-Fi音响的音乐世界中……你是否能意识到传递给我们声音的使者是谁，这就是我们本文将谈到的主角——扬声器。

扬声器（俗称喇叭）是一种将输入的含有声音信息的电信号转换为声信号的重要电声转换器件。也许你对它比较陌生，也许你认为它非常神秘：一张小小的纸盆，一个小小的音圈，一块小小的磁铁如何能够发出如此变化万千、美妙动听的声音！实际上扬声器的工作原理只要你具备了初中物理知识就可以弄明白。从19世纪前，人类首次发明到现在，有许多科学家绞尽脑汁地去研究和改进，但它至今仍然存在着许多让我们伤透脑筋、难以克服的技术缺陷，有待我们去改进、去突破！为了让大家对扬声器的发展有所了解，我们以连载的形式简单展示一下作为电声转换系统“喉舌”的扬声器，它在每一发展时期的代表作及目前较新型的无振膜扬声器。本期先介绍19世纪最先发明的5款扬声器，下期将介绍带式扬声器、宽频直接辐射式扬声器、同轴式扬声器、气流调制式扬声器等。

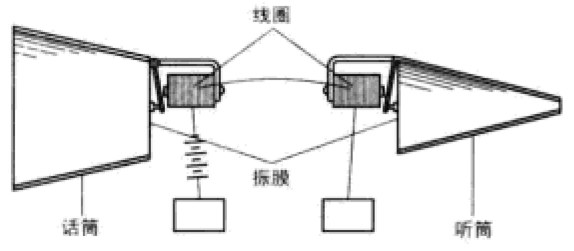


图1 1876年发明的贝尔电话

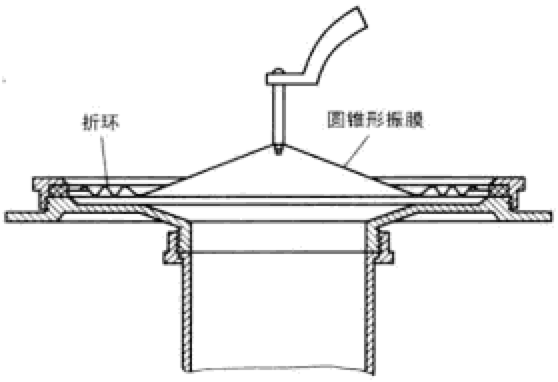


图3 1901年发明的3393圆锥形纸质振膜

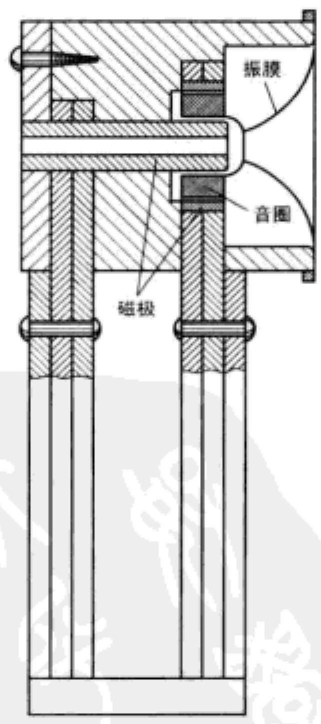


图2 1877年发明西门子扬声器

扬声器技术发展简史

1. 发明前的技术准备

虽然人类对于声音的采集、记录、重放技术的研究和掌握只是在近一百年里才逐步完善的事情，但人们对于声音的兴趣可追溯到早远年代。到了近代，声学、电磁学领域的技术进步给人类实现梦想带来了希望、奠定了基础。

1820年4月丹麦科学家汉斯·克里斯蒂安·奥斯特(Hans Christian Oersted)在给学生讲课时，发现了通有电流的导线对放置在其附近的磁针可以产生力的作用，让其偏转一定的角度，由此发现了电流具有磁效应。1831年英国科学家迈克尔·法拉第(Michael Faraday)发现了变化的磁场可以使处于磁场内的线圈产生电流，发现了电磁感应现象，并利用此原理创建了发电机原型。法拉第发明的发电机经过众多科学家的不断改进和完善，性能得到了很大的提高，使电在社会各个领域的应用越来越广泛。相应地，人们对于电在各领域的应用的研究也越来越深入。

1878年，英国物理学家瑞利（John William Strutt）发表了《声学原理》。对声光相互作用、机械运动模式、非线性振动等项目都有深入的介绍，标志着人类对于声学的研究进入到了一个系统、全面、深入的层次。

2. 零的突破

1876年3月7日美国科学家亚历山大·格雷厄姆·贝尔(Alexander Graham Bell)发明了举世闻名的“电话”，获得美国No.174465专利（见图1）。图中左侧为受话器部分，人对着话筒讲话，声音的能量被聚集后推动振膜带动衔铁振动，导致流过整个电路的电流发生相应的变化，变化的电流在右侧的“听筒”引起电磁铁产生的磁力发生相应的变化，使衔铁和振膜发生相应的振动，最终还原出声音。由此

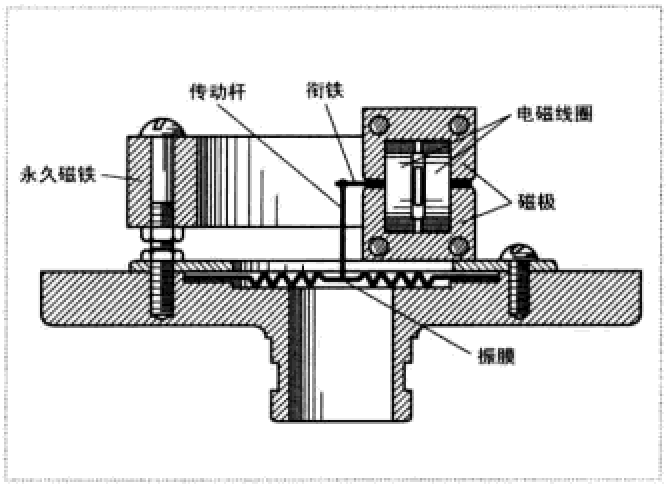


图4 1918年发明的平衡电枢式扬声器

可见，右侧“听筒”部分实际上就是一个扬声器。贝尔发明的电话实现了电声转换技术“从无到有”的“零的突破”。

3. 锥形的出现

1877年12月14日西门子公司的创始人维尔纳·冯·西门子（Ernst Werner Von Siemens）申请了有关扬声器的NO.2355德国专利（见图2）。从图中可以看出其技术方案比贝尔发明的电话有了很大的改进，取消了电磁铁部分，而将一个圆形活动线圈放置在径向磁场内组成电动音圈结构，可使振膜获得更自由的振动空间、更好的线性支撑，简洁的结构为扬声器获得更好的音质创造了条件。

4. 带波浪形外支撑折环的圆锥形纸质振膜的发明

1901年2月16日约翰·施特罗（John Stroh）申请了英国专利No. 3393（见图3），他在专利中描述了采用纸作原料制作圆锥形振膜的技术，在此之前的扬声器的振膜大多为平面型，在音圈驱动力的作用下难以保持相对固定的整体形状。在这项专利当中，另一个突出的技术特点就是为了给振膜提供更为灵活、更加线性的支撑，振膜总体呈圆锥形，还特别将振膜边缘部分纸盆的形状做成容易发生形变的波浪形结构，避免整个纸盆发生大的形变。

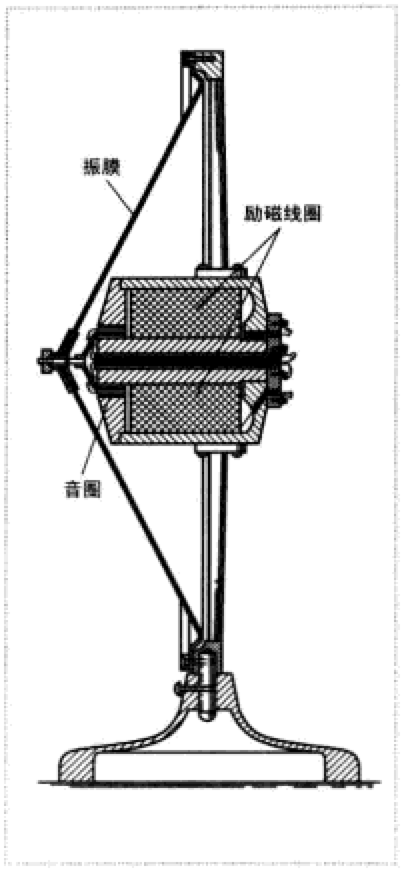


图5 1921年发明的直接辐射式扬声器

5. 平衡电枢（舌簧）式扬声器的发明

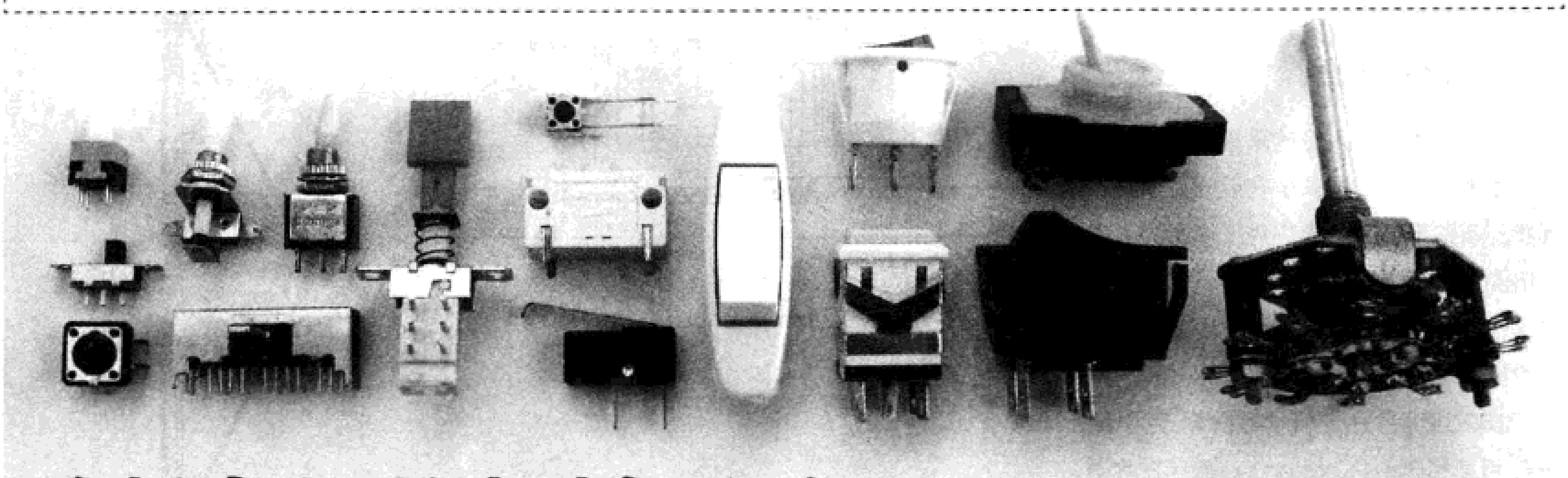
1918年1月8日亨利·埃杰顿（Henry Egerton）申请了美国No.1365898平衡电枢式（Balanced-Armature）扬声器的专利（见图4），从图中可以看出平衡电枢式扬声器的结构主要由振膜、传动杆、衔铁（舌簧）、电磁线圈、磁极、永久磁铁组成。平衡电枢式扬声器一般都具有很高的电声转换灵敏度，但频率响应较窄、失真较大。

6. 直接辐射式扬声器技术的发明

1921年4月23日克莱尔·劳瑞·法兰德（Clair Loring Farrand）申请了No.1847935美国专利（见图5），这是第一份描述直接辐射式扬声器的专利，其结构更为简单，实现了音圈与振膜之间为直接的连接，简化了力的传输路径。这项专利的另一个重大意义就在于取消了号筒，将振膜振动产生的声波直接向外部空间辐射，为进一步提高电声转换性能开辟了一个新的途径。

常用元器件的识别与使用（23）

◎张晓东



通断自如的机械开关

机械开关通常简称开关，它几乎是任何电路、设备、仪器都离不了的一种机电控制器件，其主要功用是接通、断开或转换电路。

许多书刊对机械开关的介绍都很简单，往往使初学者认为它是一个很简单且无足轻重的普通元器件。其实不然，机械开关在各种电路中的工作状况如何，将直接关系和影响到整个电路能否正常工作。由于机械开关在实际应用中的故障率往往很高，所以比较全面地学习和掌握一些机械开关的基本知识，对于电子爱好者来讲是很有必要的。下面就向大家介绍一般常用小型机械开关的识别与正确使用方法。

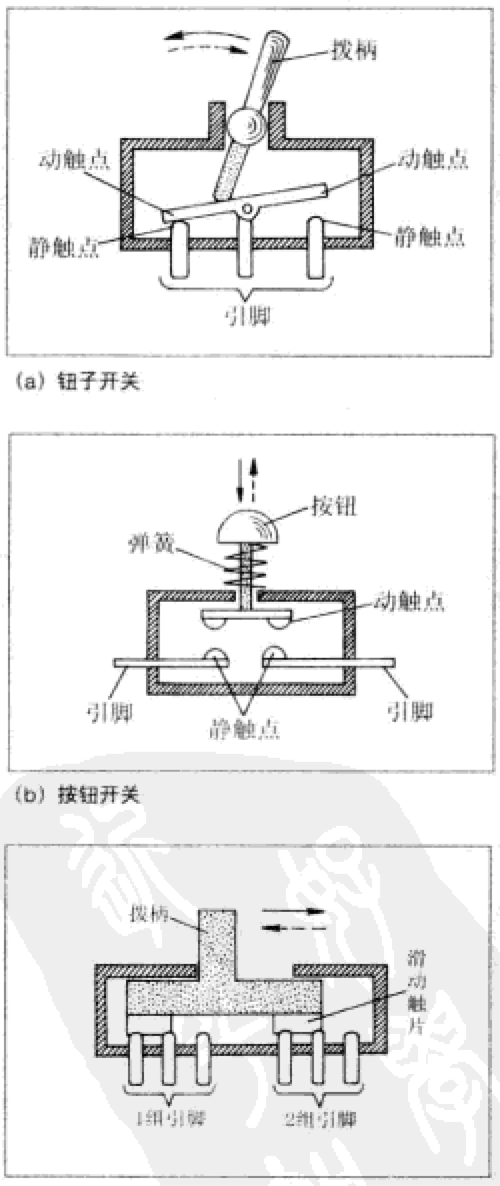
如何识别机械开关

1. 结构及原理

尽管我们经常用到的机械开关形形色色、各种各样，但它们的基本构成和工作原理都是大同小异，其典型结构原理如图1所示。可见，每一个机械开关都是由动触点（简称“刀”或“极”）、静触点（简称“位”或“掷”）、引脚（接线端）、传动定位机构以及人手操作部件等组成。当人手（或其他外力）拨动机械开关的拨柄（或按动按钮）时，动触点就会与静触点接通或断开，从而起到接通或断开电路的作用。

通常一个机械开关最少由一动、一静两个触点构成，其中与动触点相连的接线端被称为动触点引脚，与静触点相连的接线端被称为静触点引脚。若一个机械开关只有一个动触点，且该动触点仅能与一个静触点接通，则这个开关就是单刀单位开关，它只有两个引脚。若一个机械开关有3个引脚，且其中的一个引脚与动触点相连（通常为中间引脚），另外的两个引脚与静触点相连，而且动触点可以轮流在两个静触点之间进行切换，则这个开关就称为单刀双位开关。将2个相同的单刀双位开关组合在一起，就构成了双刀双位开关。依此类推，可根据需要生产出多刀多位开关来。单刀单位开关只能接通或断开一条电路，单刀双位开关可选择接通（或断开）两条电路中的一条，双刀双位开关可同时接通或断开两条独立的电路，其他多刀多位开关的作用可依此类推。

对机械开关的主要性能要求是：触点接触良好、动作干脆无阻滞、转换力矩适当、定位准确可靠、绝缘良好、使用寿命长。在某些应用场合还要求具备特殊的环

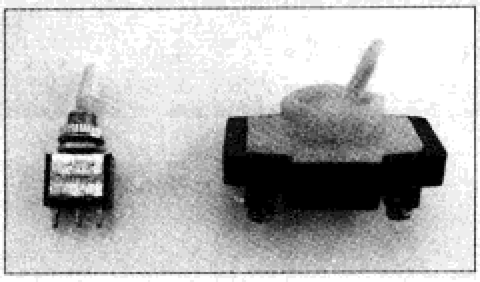


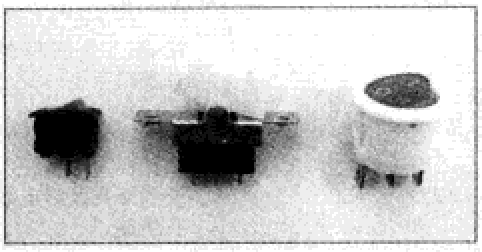
(a) 钮子开关

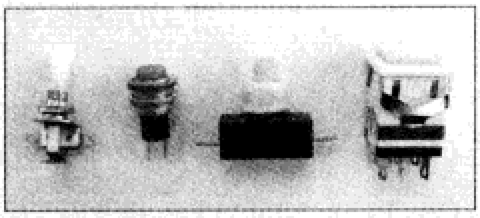
(b) 按钮开关

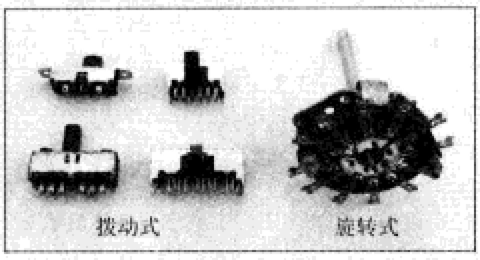
(c) 直拨开关

图1 常用机械开关结构原理图

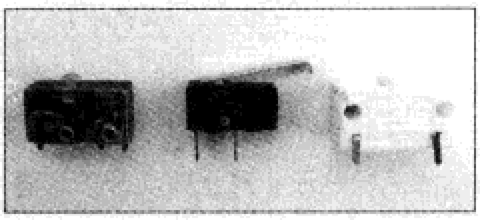

(a) 钮子开关


(b) 波动开关


(c) 按钮开关



(d) 波段开关


(e) 微动开关

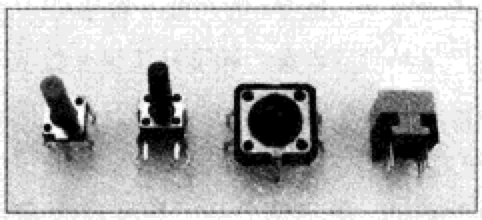

(f) 轻触开关

图2 常用机械开关外形图

境适应能力。

2. 外形及种类

机械开关种类很多，其外形特征更可用“五花八门”来形容。如果按用途来区分，有电源开关、波段开关、录放开关、限位开关、控制开关、转换开关、行程开关等。如果按操作方式来区分，有直拨开关、按键开关、推拉开关、旋转开关、拨盘开关、推推开关、杠杆开关等。如果按结构来区分，有钮子开关、波动开关、按钮开关、滑动开关、薄膜开关等。

常用机械开关的外形实物如图2所示，下面分别对其性能特点作简单介绍。

◆ 钮子开关。钮子开关的外形如图2(a)所示，它一般为单刀单位、单刀双位、双刀双位类型的开关，其主要用作通、断电路电源和转换电路状态等。钮子开关根据安装方式不同，可分为垂直安装型、水平安装型、螺纹套管安装型、卡口安装型；根据体积大小不同，可分为超小型、小型、中型、大型；根据引脚形状不同，可分为弯脚型、直脚型、焊片型、快速连接型；根据钮柄形状不同，可分为短锥型、标准型、锥型等。

◆ 波动开关。波动开关也叫按动开关，它实际上是钮子开关的一种，其外形如图2（b）所示。这种开关常用作家用电器及仪器仪表的电源通断、状态切换控制，其特点是通过按压开关上的“跷板”来完成触点状态的转换。由于跷板多呈元宝形，操控方式为揿按式，跷板动作起来似波浪，所以得名“波动开关”。波动开关有的地方又称为船形开关，这是因为其跷板的形状看起来很像船形。

◆ 按钮开关。按钮开关的外形如图2(c)所示，它分为自复位式和自锁式（也叫推推开关）两大类。所谓自复位式（也称非锁定式、往复式）开关，就是指开关只有在人手按压下按钮时才能接通（常开触点）或断开（常闭触点），手指一旦松开就会马上恢复到原始状态。常用门铃按钮开关就属于典型的自复位式常开触点开关。而自锁式（也称锁定式、交替式）开关则是指按一下按钮开关即接通并能保持状态，再按一下就会断开。因为会自己维持动作状态，所以称为自锁式开关。常见微动开关、轻触开关都属于自复位式开关，而钮子开关、波动开关、波段开关等都属于自锁式开关。

按钮开关的按钮可以是红、绿等各种颜色，外形可以是圆形、方形等，还可以分为带电源指示灯和不带电源指示灯两大类。

◆ 波段开关。波段开关又称为波段转换开关，它属于多刀多位开关，其外形如图2（d）所示。波段开关按照操作方式不同可分为拨动式、旋转式、直键式和杠杆式等4种。拨动式开关是一种小型化的波段开关，多用于小型化电子设备中，它有双刀双位、4刀双位、6刀双位等之分。旋转式波段开关采用切入式咬合接触结构，或者是采用套入式滚动跳步结构，其开关板有胶质板和高频瓷两种。直键式波段开关较旋转式波段开关使用方便，其外形美观，品种较多，按开关方式不同可分为自锁、互锁、无锁及互锁复位4种，按开关组成形式不同可分为带电源接触组及无电源接触组两种。杠杆式波段开关常见于收录机磁带选择与收音功能的转换，它的操作手柄对开关触点的切换是通过杠杆运动来完成的，具有体积小、操作方便省力等特点。

◆ 微动开关。微动开关属于一种特殊的按钮开关，其外形如图2（e）所示。微动开关的基本形式为单刀双位式，平时一个触点断开、一个触点接通，当给力传动杆（或按钮）时，原来接通的触点断开、不通的触点接通。当外力消失后，各触点又马上恢复到原来的状态。微动开关实际上是一种施压促动的快速开关，由于其具有微小触点间隔与快动结构等特点，故又被称作灵敏开关。微动开关在电子设备及电气装置中广泛用于需要频繁换接电路的

自动控制及安全保护等方面，其经常充当着“限位开关”、“门控开关”的角色。微动开关按用途不同，可分为检测型和电源开关型两大类 。

◆轻触开关。轻触开关是一种小型化的按钮开关，其外形如图 2（f）所示。轻触开关具有体积小、重量轻、手感好的特点，它可直接焊固在印制电路板上，广泛应用在各种电子装置和仪器仪表中。

3. 主要参数

机械开关的产品参数主要有控制参数和性能参数两大类，主要参数有额定电压、额定电流、接触电阻（此值越小越好）、绝缘电阻（此值越大越好）、耐压、寿命等。

实际选择和使用开关时，主要考虑的是额定电压、额定电流和接触电阻这3项参数。附表给出了一些常用国产机械开关的型号及性能参数，仅供参考。

4. 型号命名

国产小型机械开关型号的命名并没有严格统一的标准，不过各厂家的命名基本上都遵循和延用了早期行业所制订的标准，其型号大致上都由五部分组成，格式和含义如图3所示。第一部分用字母表示产品类型，如“KN”表示钮子开关，“KA”或“KD”表示按钮开关，“KS”或“KND”表示波动开关，“KB”或“KBB”表示拨动式波段开关，“KZ”表示旋转式胶纸板波段开关，“KC”表示旋转式瓷质波段开关，“KZJ”表示直键开关，“KQ”表示琴键开关，“KH”表示滑动开关。第二部分用字母表示产品大小（有些型号省略了该字母），其中“T”代表“大型”、“Z”代表“中型”、“X”代表“小型”、“C”代表“超小型”。第三部分用数字表示产品种类或序号，对于直键开关来讲。“1”表示触点是圆形，“2”表示触点是片形。对于拨动开关来讲，“0”代表无自动复位，“1”代表单边自动复位，“2”代表双边自动复位。第四部分常用“数字+W”或“数字+Z”表示产品静触点数量。钮子开关等在数字前面还加有单个字母，用以表示开关拨柄的材料，其中“A”表示金属柄，“B”表示塑料柄。第五部分用“数字+D”表示产品动触点数量。

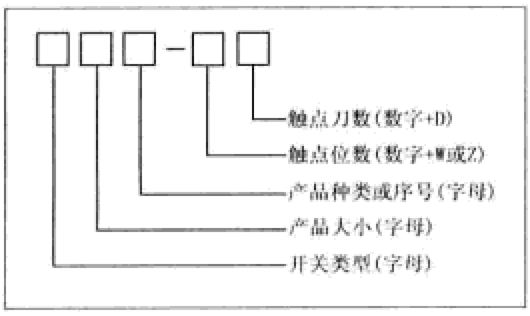
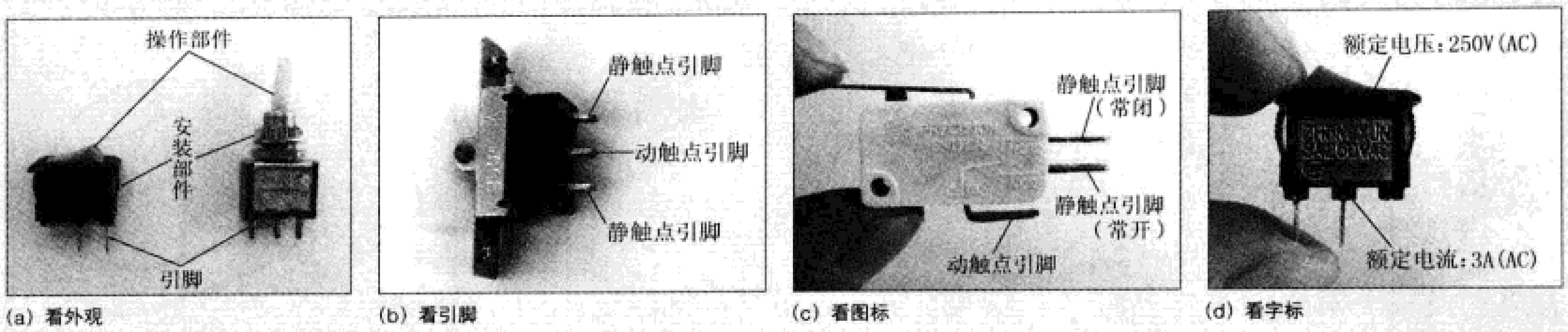


图3 国产机械开关的命名规律

附表 常用国产机械开关的性能参数

名称	型号	极限参数		性能参数				结构特点
		额定电压(V)	额定电流(A)	接触电阻(Ω)	绝缘电阻(MΩ)	耐压(V)	寿命(万次)	
钮子开关	KN3-A1W1D	DC 27 DC 300 AC 110 AC 220	6 0.5 5 3	≤0.01	≥10	1500	1	拨柄材料为铜
	KN3-A1W2D							
	KN3-A2W1D							
	KN3-A2W2D							
	KN3-B1W1D							拨柄材料为塑料
	KN3-B1W2D							
	KN3-B2W1D							
	KN3-B2W2D							
小型钮子开关	KNX-2W1D	DC 30 AC 220	1 2	≤0.01	≥1000	1500	1	拨柄为金属杆外套塑料手柄
	KNX-2W2D							
超小型钮子开关	KNC-2W1D	DC 25 AC 220	0.5 1	≤0.01	≥100	1000	1	
	KNC-2W2D							
波动开关	KND2-2W1D (KSZ-1)	DC 30 AC 220	1.5 3	≤0.01	≥1000	1500	1	由塑料船形按钮、塑料外壳及导电触头组成
	KND2-2W2D (KSZ-2)							
按钮开关	AN4	DC 50	0.1	≤0.02	≥500	200	0.5	自复位式
	KD2-21	DC 125 AC 250	3 6	≤0.04	≥1000	1000	1	双刀自锁式
	KD-22							双刀自复位式
	KD2-21F							双刀自锁式，带LED指示灯
	KD-22F							双刀自复位式，带LED指示灯
拨动式波段开关	KB	DC 250	0.05	≤0.02	≥100	150	1	触点规格2W6D
	KB-1		0.1					触点规格2W6D
	KB-2		0.05					触点规格2W2D
	KBK							触点规格2W4D
	KBBK-2			≤0.015				触点规格2W6D
旋转式波段开关	KZX	DC 250	0.05	≤0.02	≥1000	500	1	小型胶纸板用螺钉安装
	KZX-1							小型胶纸板用轴套安装
微动开关	KWX	DC 30 AC 250	0.5 1	≤0.01	≥1000	1000	DC 20 AC 3	胶木外壳，体积小，动作灵敏
	KWX-1	DC 48 AC 250	0.5 1				20	
	KWX-2	DC 110 AC 220	2 2				20	
轻触开关	KJ-123	DC 28	0.25					外形尺寸12mm×12mm×4mm，1组转换触点



（a）看外观 （b）看引脚 （c）看图标 （d）看字标

图4 机械开关的识别方法

5. 产品标识

小型机械开关由于外形与其他元器件有明显的差异，所以识别起来是比较容易的。从外部来看，普通机械开关都是由操作部件、安装部件和引脚（接线端）三大部分构成的，如图4所示。尽管前两个部件有时差别很大，但其特征表现都是十分明显的。一般不需要查看型号和检测，使用者一眼就可以确认出机械开关的身份。

如何使用机械开关

1. 简易测试方法

一个性能良好的机械开关，首先必须要求手柄（按键）活动自如，不能有任何松动、阻塞或转换不到位的现象，其引脚不能有折断、紧固部件不能有滑脱或松动等现象。除此以外，主要电性能应满足实际使用要求。下面以用MF50型指针式万用表测试为例，介绍在业余条件下快速检测机械开关性能好坏的方法。

◆ 检测通断性能。按照图5所示，将万用表拨至“R×1kΩ”电阻挡，红、黑表笔不分极性接在所测机械开关的动触点引脚和对应静触点引脚。当开关处于断开状态时，万用表指针读数应为无穷大（∞），当开关处于接通状态时，万用表指针读数应为0，否则说明该开关已经损坏。对于多位（掷）或多刀（极）开关，应如法分别检测各对应触点间的通断情况。

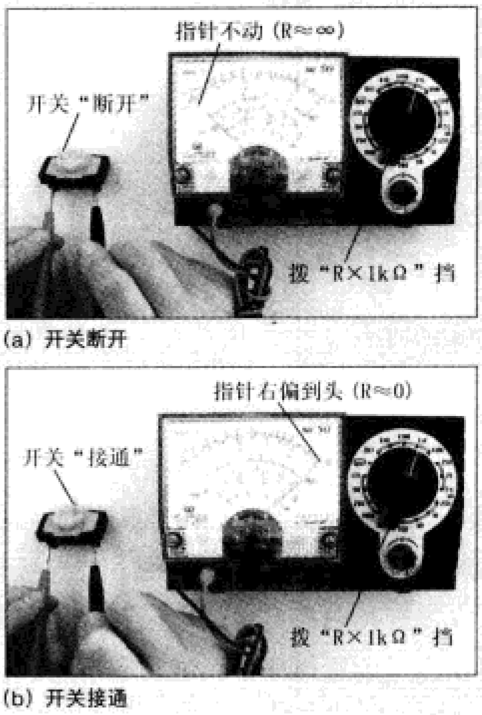
如果将万用表拨至“R×1Ω”电阻挡，并参照图5（b）所示测量开关每对接通触点之间所存在的电阻值，即可获得相应接通触点间的“接触电阻”。该数值一般应在0.5Ω以下，此值越小说明触点接通性能越好。如果此值较大，说明被测触点之间有接触不良的故障。

◆ 检测绝缘性能。将万用表拨至“R×10kΩ”或“R×1kΩ”电阻挡，参照图5（a）所示测量开关每对断开触点之间所存在的电阻值，万用表指针均应不动（即读数应为∞）。对于多刀开关，还应按照图6（a）所示测量不同触点组引脚之间的绝缘电阻，正常情况下万用表指针读数均应为无穷大。如果是金属外壳的开关，还应按照图6（b）所示，测量每个引脚与外壳之间的绝缘电阻，正常时均应为无穷大。若测出一定的阻值，说明被测开关绝缘性能太差，内部存在有漏电现象，该开关在故障未排除前不能使用。

2. 使用常识

◆ “四步选择法”：一．根据所控制电路的特点和用途，选择不同类型的开关。二．根据所控电路的数量和每个电路的控制状态，来确定所选开关的刀数和位数。三．根据所控电路的最大工作电压与电流等确定所选开关的额定电压和额定电流参数值，要求都要留有余量，一般为实际工作电压与电流的1～2倍即可。四．根据安装位置的实际情况，选择开关外形尺寸、安装尺寸及安装方式等。

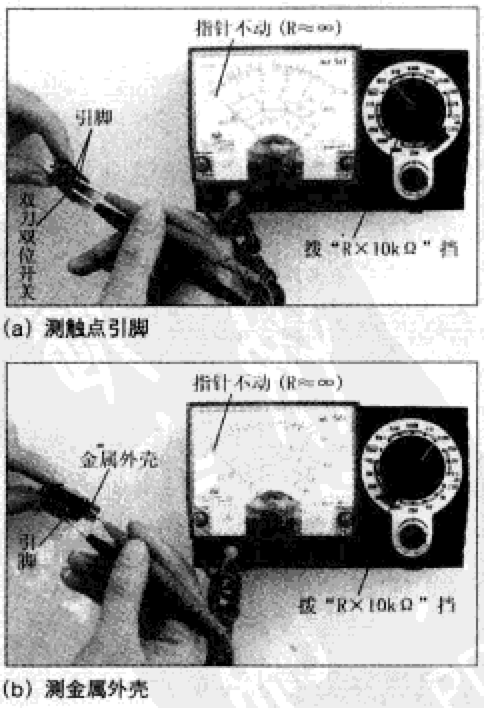
◆ 对于金属外壳的产品来说，各引



（a）开关断开

（b）开关接通

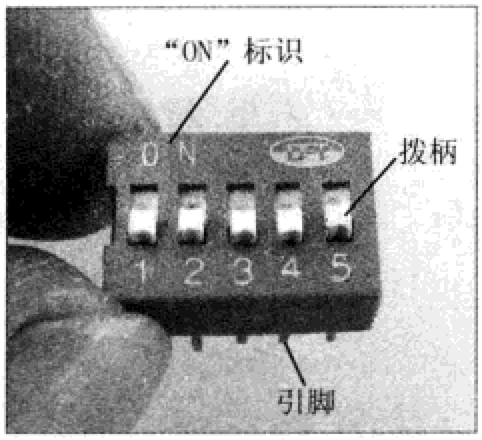
图5 检测开关通断性能



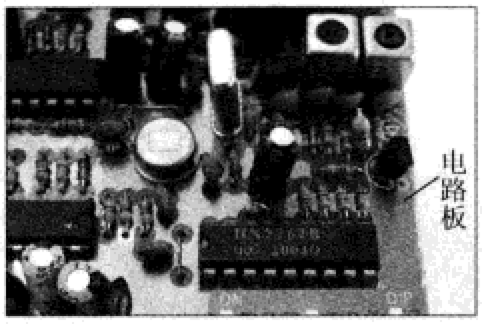
（a）测触点引脚

（b）测金属外壳

图6 检测开关绝缘性能

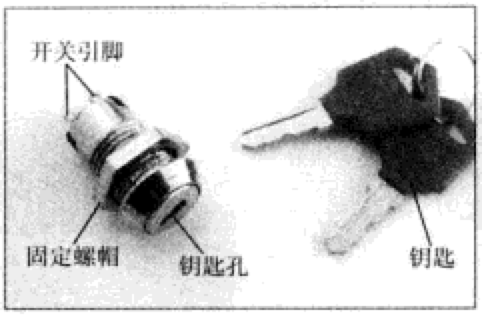


(a) 外形图

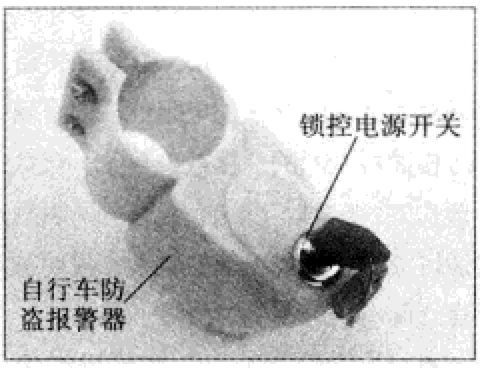


(b) 应用图

图7 拨码开关

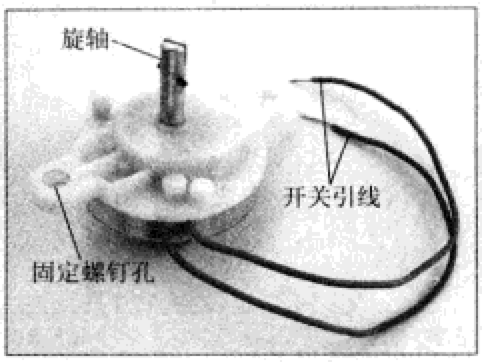


(a) 外形图

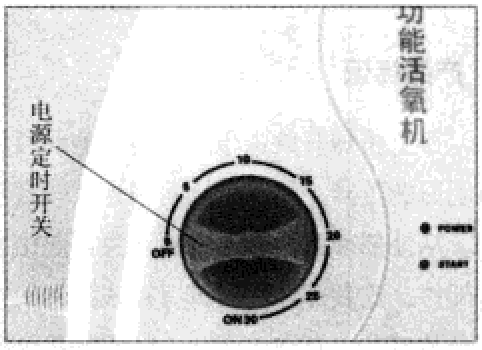


(b) 应用图

图8 锁控开关



(a) 外形图



(b) 应用图

图9 机械式定时开关

脚与金属外壳之间均应保持良好的绝缘。金属外壳可以接电路中的地线，这样可有效降低开关触点产生的电火花对周围电路所造成的电磁干扰，即具有屏蔽抗干扰作用。

◆ 在一些电子设备的电路板上，我们常会看到如图 7 所示的特殊开关——拨码开关。该开关又叫"DIP 开关"，这是因为它的两排引出脚的间距与标准双列直插式集成电路完全一致，可以很方便地将它插在 DIP 封装的集成电路管座上。该开关实际上是由多个相同的微型单刀单位开关组合而成。当组合有 4 个开关时，其具体名称就为"4 位拨码开关"，当组合有 8 个开关时，其具体名称就为"8 位拨码开关"。这种开关的左上角（或右上角）通常标有"ON"标识，表明当某路（或多路）开关柄拨向上部时，相应的开关为接通 (ON) 状态，拨向下部时则为断开 (OFF) 状态。

拨码开关主要应用在小电流的模式选择、地址选择、频率选择电路中，其作用与电路板上经常采用的"跳线（Jumper）"类似，不同处只是在电路通断的控制上用小型拨动开关替代了需要焊接的跳线（导线），使用起来更显方便自如。

◆ 将普通机械锁的锁芯与触点开关巧妙地组合为一体，并配上专门的钥匙，就构成了如图 8 所示的能够有效限制他人操作的锁控开关。这种开关既可用于电源控制，也可用于信号回路控制，目前已广泛应用在需要限制他人随意开、关机或操作的各种电话机、防盗报警器、笔记本电脑等装置上。使用时，将配套的钥匙插进锁孔，一般旋转 90° 角，即可完成"开"或"关"操作，而离开了钥匙是无法操作这种开关的。

◆在普通电风扇和洗衣机等电器中，广泛采用了图 9 所示的可手动接通、延时断开的机械式定时开关（俗称定时器）。这种定时开关内部由触点开关和类似于齿轮式钟表的延时拨动机构组成，它能按人们预定的时间自动切断所控电器的电源，实现延时自动关机功能。在实际应用时必须给这种定时开关的旋轴配上带有时间刻度的旋钮，才能正常使用。

◆ 实践证明，机械开关的故障率相对于无触点电子开关等而言是比较高的，其主要故障有接触不良、不能接通、触点间有漏电、工作状态无法转换等。对于可拆卸或触点裸露的机械开关，可采用无水酒精清洗触点的方法排除故障，对于微型密封或"一体化"的机械开关，就只能通过更换新的开关来解决问题。

◆ 焊接机械开关时，动作要快，并注意采取散热措施，否则开关受热时间过长，有可能使触点簧片失去弹性，导致触点接触不良。各种类型的非密封型机械开关在焊接时，焊剂均不能扩散到触点，如果开关的机械动作部位存在润滑油，同样不能污染到触点，否则会使接触电阻增大。由于焊接不当而造成的触点失去弹性或触点污染，是人为导致开关发生接触不良故障的主要原因。

愿周海婴（BA1CY）前辈一路走好！

◎童效勇（BA1AA）

著名业余无线电爱好者周海婴同志（呼号BA1CY）于2011年4月在北京逝世，中国无线电运动协会（CRSA）、中国无线电协会(RAC)、北京市无线电运动协会等有关方面负责人，以及部分CRSA终身会员、业余无线电俱乐部、院校业余电台的成员，代表广大业余无线电爱好者参加了周老的遗体送别仪式。

海婴前辈一生为推动中国业余无线电事业的发展做出了重大贡献。他曾是中国无线电运动协会副理事长、顾问。近几年来，他在婉拒了很多社会职务的情况下，2009年接受了人民邮电出版社发出的作为“业余无线电丛书”编委的请求，尤其难得的是，在他生命最后的一段时间，还接受了中国无线电协会业余无线电工委担任“资深顾问”的聘请。这足见他对业余无线电事业的关心和支持。

海婴前辈从小学开始就着迷无线电，十一二岁就开始制作0-V-1、0-V-2 直流接收机。抗战胜利后，已正式跨入HAM行列的周海婴，是当时中国业余无线电协会（CARL）的会员，有了自己的电台和呼号C1CYC，是一名非常活跃的无线电活动积极分子。

1949年，周海婴在一次随母亲许广平去探望时任团中央书记处书记的廖承志时，趁机提出了开展业余电台活动的建议，从此他就一直积极宣传业余无线电，呼吁开放业余电台。

20世纪70年代，海婴前辈全力为业余无线电事业正名，以全国人大代表身份，在第五届全国人民代表大会上正式提案，希望尽快在中国恢复开放业余电台。

1981年、1992年，他两次参加由原电子工业部副部长孙俊人召集的如何在我国恢复、开放业余电台的研讨会。他在会上积极进言，为1982年我国恢复集体业余电台活动和1992年恢复开放个人业余无线电台起到了至关重要的作用。

1982年第7期《无线电》杂志封面，周海婴指导童效勇操作电台

1946年11月CARL广州分会欢迎周海婴（前排居中）到访时的合影

1946年周海婴（最后排左起第6位）参加CARL第7届年会的照片

1982年集体业余电台恢复活动后，他积极倡导并亲自参加各类业余无线电活动，对刚建立不久的集体业余电台和青少年科技活动更是不吝赐教。1982年3月，BY1PK刚恢复发信时，周老还亲临现场进行指导。对此，《无线电》杂志专门在1982年第7期封面上刊发了照片。

1992年恢复开放个人业余无线电台，当年12月22日海婴前辈作为共和国第一批个人业余电台操作者，在家中成功发信。从此，他以BA1CY呼号领中国个人业余电台活动之先锋，以其熟练的技术、规范的操作，组织并主持华人的空中网络，积极参与、指导年轻一代业余无线电爱好者的活动，成为中国业余无线电界的一面旗帜，深为全国爱好者所敬仰。

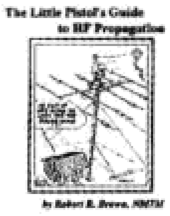
我们应以海婴前辈为楷模，为继续发展中国的业余无线电事业而不懈努力。

再说一声，海婴前辈，一路走好！

短波传播的奥秘

◎R.Brown（NM7M）著　刘璞（BA7JS）编译

传播的路径



我们已经了解了电离层的来源以及太阳活动对其造成扰动的可能性，那我们再来看看短波传播更深入的3个部分——临界频率、信号强度和噪声。任何短波波段的通信取决于路径的打开以及足够的信号强度和接收端的低噪声。

临界频率

我们从单层的平面电离层开始，其峰值处具有最大电子浓度N_{max}，其高度为离地球表面H_{max}，如图1所示。这种模型可以用于显示晚上的状态，当E层的电离降到一个低水平而仅剩下了F2层。我们知道，从发射机垂直向上发出，并能作为回波返回地面的最高频率，称为该层的临界频率(f_c)，由f_c=(9E-6)×SQRT(N_{max})给出，其中N_{max}为高度在H_{max}时的电子浓度。

当一个发射机以高于地平线的一个角度发送射频电波，或者说以与垂直或天顶方向的夹角Z发射。射频电波以角度Z进入电离层的底部，然后因为折射而产生一个弯曲的传播路径。这种情况下，对于斜入射，从该层（电离）峰值处回到地面的最高频率f_{max}理论上要比f_c大1/cos$Z$倍。举个例子，假设f_c等于4MHz而角度Z等于60°。这时，电子浓度N_{max}为2E+11/m^3，而以这个入射角返回的f_{max}频率为8.0MHz，是垂直入射临界频率的两倍。

这个简单的例子显示了短波传播是如何工作的。一个8.0MHz的信号以斜入射而回到地面，其路径的偏转要更小一些（60°），而不是垂直入射时4MHz信号的180°。这个结果产生的原因是，较高频率的信号沿着斜路径上遇到的电子数量比垂直入射的临界频率信号遇到的要大得多。

因此，短波通信在远低于临界频率（用电离层探测来获得）的频率上传播也是可能的，其极限由头顶上的电子浓度和天线的辐射方向图所决定。当然，更低的频率(f)也可以沿着斜入射角传播，只是它们无法在电离层中穿透得更远。由于频率为f_{max}的辐射由f_{max}=f_c/cos$Z$给出，它以与天顶夹角为Z的角度传播，并到达高度为H_{max}的电离层顶部，而此处的电子浓度为N_{max}，那么它的等效垂直频率就为f_{max}×cos$Z$。以此而言，较低频率(f)的辐射会有一个较低的等效垂直频率f×cos$Z$，会在一个较低的高度返回，该高度上的电子浓度N可以根据等式f×cos$Z$=(9E-6)×SQRT(N)得到，而实际高度可从电子浓度剖面得到。

除了这个重要结论之外，图1还显示了以一个入射角进入电离层时的地面范围，或称跳跃距离。图1指出了射频被向下折射时的实际高度，以及射频如同被一个电离层“镜子”反射回来时的虚拟高度之间的差别。

尽管镜面反射这个想法在传播的讨论中还是有作用的，但必须记住，它是象征性的，而不是实际发生的情况。究其原因，一面镜子当然没有折射特性，因而无法表示电离层的这一主要特征，即传播路径会跟随频率变化而改变。处理电离层问题更好的方法，无论折射还是反射，是要将地球的曲率包括进来，并用球面几何来计算路径的详情，用

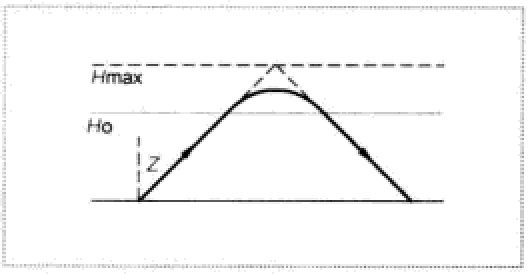


图1 单层平面电离层中的电波折射

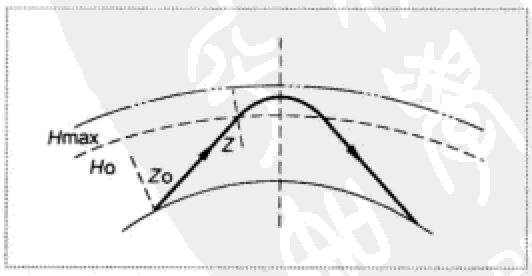


图2 单层弯曲电离层中的电波折射

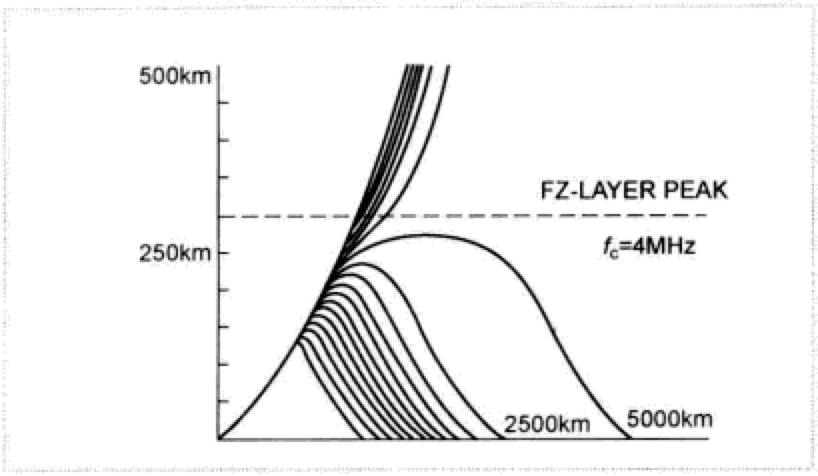


图3 以水平角为5° 发射的射线轨迹，2~20MHz，以1MHz为步进。

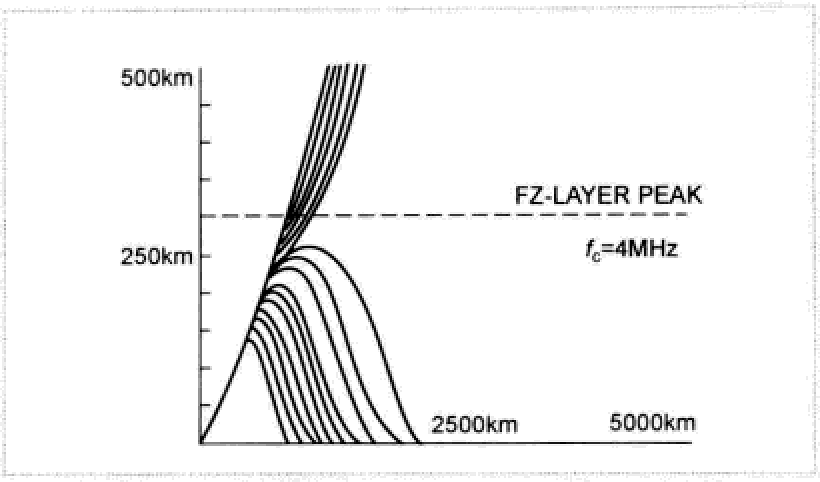


图4 以水平角为15° 发射的射线轨迹，2~20MHz，以1MHz为步进。

6378km代表地球的半径。除了在高度*Ho*时的入射角*Z*，弯曲的电离层是从*Ho*处开始的，还要将球面几何的问题考虑进去。在图2所示的几何图形中，在高度*Ho*处的天顶角Z是与射频从地面发射处的天顶角不一样的（更小）。

除了这项调整以外，还有一个修正系数（k）必须加到1/cos*Z*因子中，这是因为电离层本身的弯曲效应。修正系数就变成了k/cos*Z*，其中k随着距离而线性地变化，由1000km路径的1.05到3000km路径的大约1.20。随着这些变化，你就可以对最大频率f_{max}做出很好的估算，它是被弯曲电离层送回地面的，该电离层具有临界频率(f_c)和在高度H_{max}处达到峰值的电子浓度剖面。

◆ 射线路径

前面说过，比f_{max}低的频率无法在如图1所示的电离层中穿透得更远，也就没有更大的跳跃距离。射线路径可以用弯曲电离层很容易地算出来，但是在球面坐标上显示出来则不方便。作为替代，我们可以使用直角坐标，水平轴显示沿着弯曲地表的距离，而垂直轴则为高出地表的高度。两个轴上代表的距离比例经常是不一样的。

来看看图3，它显示当射线以高于地平线5° 的角度发射，并进入一个带有如图1所示特征（f_c=4MHz，H_{max}=300km，*Ho*=125km）的弯曲电离层时的结果。射线轨迹一开始显示最低频率（即2MHz）在该电离层底部的弯曲或折射，然后随着频率的增加，该图显示出了对该层更深的穿透，13MHz的射线来到靠近电子浓度峰值处（300km高度），然后14~20MHz的射线向上穿过F层峰值处，并进入电离层的顶端。图3中的射线轨迹同时显示了给定发射仰角的这些跳跃距离。

接下来看看图4，其中的发射角增加至离水平面15°。可以看到，在更陡的发射角上，跳跃距离缩短到了几乎1/4，而F层所支持的前向传播的最高频率从13MHz降低到了10MHz。

图5显示了一个中纬度地区黎明时分的电离层中的射线轨迹，包括了位于大约115km高度上E层的电离。在这个环境中，在E层中使用的剖面电子浓度从90km很快地上升到一个大约115km的“平原”，f_{oFE}的值为2.5MHz。从这里开始，电子浓度平稳地升高至F层的位于285km的峰值高度处，f_{oF2}的值为8.0MHz。在这个情况下，发射角度设定于高于水平面5°，最低频率取值为3MHz，且频率以每次3MHz的步进一直到48MHz。

图5还显示由E层送回来的低频率射线（3~9MHz），然后是在穿越F2峰值处之前被送回地球的12~33MHz的射线，最后是36MHz及更高频率的射线穿越进入F层的上部。图5同时显示出，12MHz的射线在上行及下行通过E层时会有一些偏离，这与折射率或弯曲率的改变有关，是射线通过一个电子浓度开始趋于平稳的（正如在E层边际以下）区域，然后再次随着高度增加而开始增加所导致的。

◆ 辐射角度

现在我们再了解一下频率保持恒定而高于水平面的辐射角度发生的变化。首先，考虑21MHz频率的情况，如图6所示。第一束即5° 角的射线轨迹跨越了大约3000km的距离，但接下来的两束落在2250km左右的距离。然后，20° 水平仰角的射线和所有其他更高角度的射线穿透了F层峰值处，并进入到F层的上部。

现在再次考虑这同一个电离层模型，但用14MHz来进行射线跟踪，结果显示在图7中，我们应当注意到这两种情况下的相似以及不同之处。首先，5° 仰角的水平（距离）范围旗鼓相当。接下来，可以看到射线再次开始收敛，这次大约在1125km的范围内，然后开始穿透F层的峰值处。这种射线的收敛是一种聚焦的方式，可以导致信号的增强。发射机和这些收敛的射线之间的距离被称为“跳跃距离（即越距距离）”，而射线收敛则诠释了“跳跃聚焦”，这是一种来源于电离层的

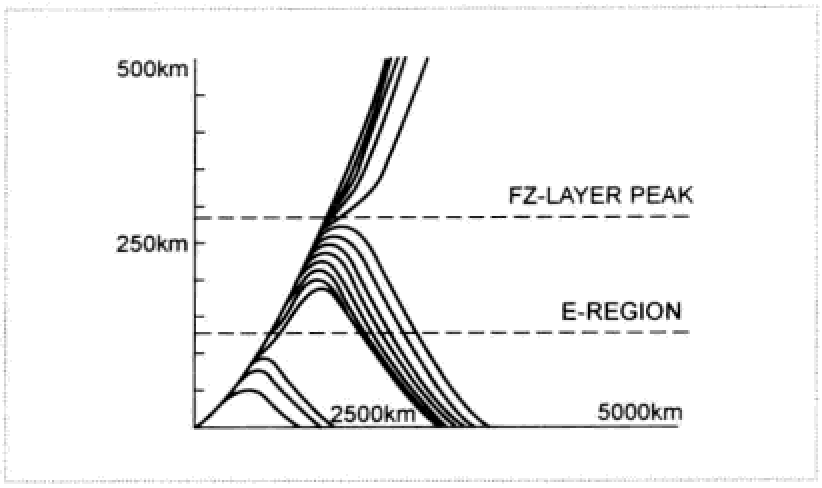


图5 中纬度地区的射线轨迹，显示E层效应，3~48MHz，以3MHz为步进。

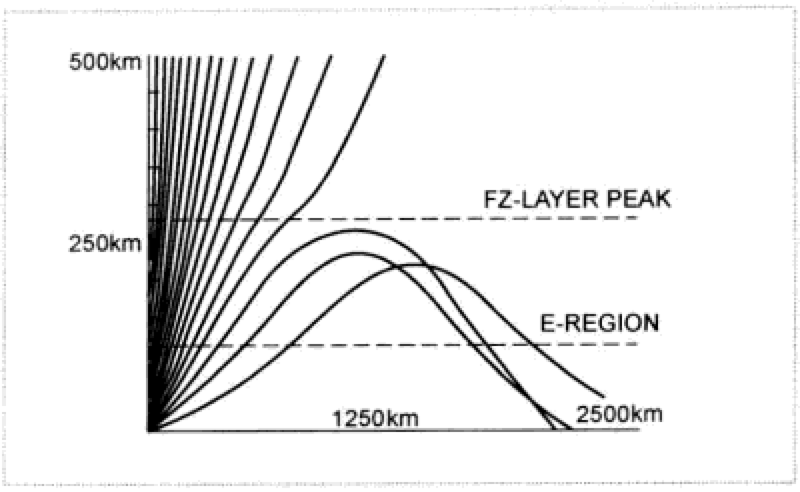


图6 21MHz的射线轨迹。发射角度从5°开始，以5°为步进直到90°。

信号增强方式。

通过比较这两种情况下的跳跃距离，你可以发现，跳跃距离随频率而增加。当然，这意味着位于跳跃距离以内的一台接收机是无法听到来自发射机的信号的。这不是一种异常情况，但这在试图通联DX时相当令人生厌，特别是在10m和15m波段，你经常无法听到附近的电台，而他们也在追逐DX电台的“信号堆叠”（即pile up，指很多电台同时抢着通联一个稀有电台的情况，译注）中。

从这些射线轨迹来看，非常明显，传播也与天线的方向图有关。特别是从天线发出的高角度射线可能回不到地球上，这取决于频率以及电离层的状态。就我们讨论的电离层而言，射频在21MHz时，穿透电离层的限制辐射角度大约为20°，在14MHz时大约为30°。以此而言，在28MHz上可以预期有一个更低的限制角度，这个波段的天线应当尽量地架高，以保持辐射角度更低，减少因高角度射线进入太空而浪费的功率。

“瞳孔”效应

上述得到的结果可以用于针对来自太空、卫星或宇宙射电噪声的信号接收。在各种情况下，来自电离层上部的信号可以向下通过一个被称为“瞳孔”的东西（它得名于照相机镜头口径后面的开关或人眼的那一部分）。这个“瞳孔”在21MHz时具有一个大约750km的半径，14MHz时为500km。当然，这个“瞳孔”的尺寸取决于太阳活动的水平和本地F层的临界频率，在太阳活动低谷期的前后会大一些，而太阳高峰期的前后会小一些。

俄罗斯卫星RS-10和RS-12使用高频信号，RS-12具有21MHz上行链路和29MHz下行链路，最容易受到由于太阳活动的改变而引起“瞳孔”尺寸变化的影响。当RS-12的29MHz下行链路信号可以被地面电台在可视距离或时间范围内收听到时，因为21MHz的瞳孔比29MHz的更小，其上行链路转发器的可使用时间，因此可能要少得多。

由于该卫星在它的1000km高度的轨道上每分钟运行440km的距离，你不能仅使用一个临界频率来对位于其下方的F层进行表述。所以，不要想象卫星飞过一个固定尺寸的瞳孔，或是一个以接收电台为中心的孔，而是要根据沿着卫星飞行路径的视线上F层的穿透频率进行计算，得到卫星的上行链路使用时间。

这个“瞳孔”效应的结果显示，F层的穿透频率在更长的时段内落在卫星的上行链路频率之下，也就是说，当太阳活动更低时，与更高时相比，有更长的上行转发器使用时间。如果你想保留接收天线上的“瞳孔”这样一个概念，意味着这个“瞳孔”会因为南北的取向和卫星的路径扩展而带来更为复杂的形状，而不是一个像天线上方有一个恒定的F层那样是一个简单的锥形。

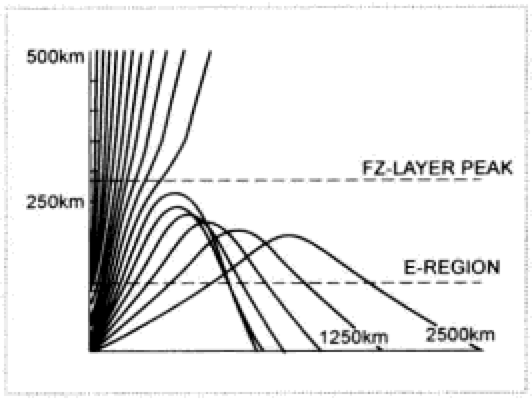


图7 14MHz的射线轨迹。发射角度从5°开始，以5°为步进直到90°。

信号通过“瞳孔”试图对RS-12卫星进行联络时，有时会听到“奇怪的声音”在下行联路上用单边带呼叫“CQ Contest”。这是当15m的正常通信正在进行时，21MHz信号通过发射天线的“瞳孔”意外地到达了卫星上。

太阳和天体射线噪声信号在高频范围的上端部分以及超过VHF/UHF的这些频率上，可以到达地球上。这些信号使用带有指向上方的波束天线的接收机来接收。为了传播的目的，30MHz左右的天体噪声信号可用来表示电离层遭受极光电子干扰以及高纬度的太阳光子轰炸的时间，还有发生地磁暴的时间。在这些情况下，穿透F层的宇宙噪声信号因为在较低的电离层D层中被吸收较多而衰减。下一次，我们就将讨论信号的强度和吸收。

如何检测与使用固态继电器

◎张晓东

固态继电器的检测方法和传统电磁继电器的检测方法完全不同。本文介绍笔者最新归纳总结的在业余条件下快速检测固态继电器性能好坏的方法和一些使用常识。

检测方法

检测工具：MF50型指针式万用表。

1. 判别引脚

若固态继电器因某种原因使输入、输出端的标记丢失，可借用万用表按照图1（a）所示进行判断，具体方法：将万用表拨至“R×1kΩ”（有些带发光二极管指示灯的产品需要拨至“R×10kΩ”）电阻挡，分别测量固态继电器4个引脚间的正反向电阻值。对于交流固态继电器而言，其中必定能测出一对引脚间的电阻值符合正向导通、反向截止的规律，并且正向电阻值比较小，一般在10~30kΩ，而反向电阻值为无穷大。据此便可判定这两个引脚为输入端，并且在正向测量（即万用表指针偏转）时，黑表笔所接为输入端正极，红表笔所接为输入端负极。剩下的两个引脚，则为交流输出端。

对于直流固态继电器而言，在按上面的方法判断出输入端的正、负极后，一般与其横向（引脚“一字排列”）或面向（引脚双排列）两两相对的便是输出端的正极和负极。有些产品的输出端带有保护二极管，虽然输入端、输出端的电阻均呈一大（万用表指针不动）一小现象，但输出端所测量出来的电阻值要明显小于输入端，一般多在3~5kΩ，如图1（b）所示。并且在此状态下，黑表笔所接为输出端的负极，红表笔所接为输出端的正极。

上述检测中，如果各引脚之间所测得的电阻值均为∞，则可判定为输入端内部电路已经开路损坏。如果输出端的电阻值在对调红、黑表笔后始终接近0Ω，则说明输出端内部电路已经击穿损坏。

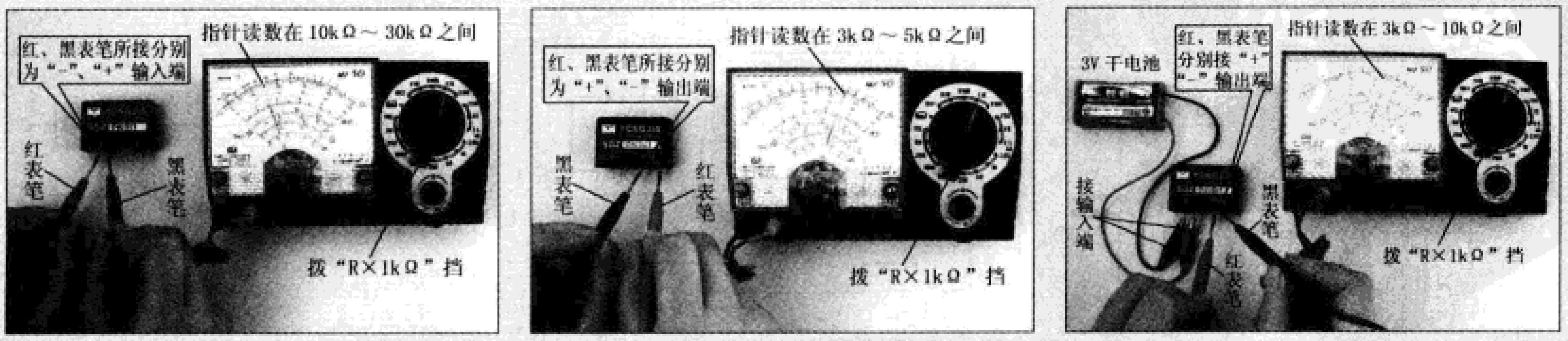
2. 检测好坏

按照图1（c）所示，将万用表拨至“R×1kΩ”电阻挡，黑表笔接输出端正极、红表笔接输出端负极（交流固态继电器不分极性），并在输入端按正、负极性正确接上3V直流电（用两节5号干电池串联而成）。正常情况下，输入端未接3V直流电时，万用表指针应不动，当接通3V直流电时，万用表指针马上偏转，其读数一般在3~10kΩ。若指针始终不动，则说明固态继电器已损坏。对于带有发光二极管指示灯的固态继电器，在输入端接上3V直流电时，指示灯应同步发光。如果指示灯不发光，说明输入端内部电路已经开路损坏。

有些固态继电器要求输入的控制电压比较高，可将3V电压提高到4.5V（即用3节5号干电池串联供电）。对于小功率的固态继电器，为安全起见，应将输入端电压降为1.5V（即采用1节5号干电池供电），或者在3V供电回路中串入一个200Ω左右的限流电阻器。

3. 测量性能参数

常用固态继电器多为额定输出电压



(a) 区分输入端 (b) 区分输出端 (c) 检测好坏

图1 固态继电器的检测

≥220V的交流固态继电器，采用上面的简易检测方法，还不能真实反映出被测器件的工作性能和获得有关工作参数。如果需要进一步掌握这方面的情况，就得进行带负载检测。具体方法：按照图2所示，将一块万用表置于“直流25mA”电流挡，并选择3～6V直流电源和一个1 kΩ左右的电位器，将它们串联后接入被测交流固态继电器的输入端。将另外一块万用表置于“交流250V”电压挡后，接在输出端上，并选择220V、100W白炽灯泡串入输出端回路后通过电源插头XP接220V交流电源。这样，调整电位器RP可改变输入端电流的大小，使得电流表指针读数在规定的范围内变化，如果灯泡能正常熄灭、正常发光，说明被测固态继电器性能良好。当输入电流接近零时，电压表的指针读数应为电网电压（即输出端控制电压），灯泡不亮，当输入电流达到一定值（典型输入电流）以后，电灯亮，电压表的指针读数即为固态继电器的通态压降。

对于直流固态继电器，只要将输出端所接电源和负载改换为相应的直流电源和合适的负载，并将输出端所接万用表置于相应的直流电压挡，即可如法进行检测了。

使用常识

在选用固态继电器时，与电磁继电器、干簧继电器类似，要考虑到输入电压（电流）范围、额定输出电压、额定工作电流等参数与所接电路的匹配问题。由于固态继电器是一种无触点电子开关，它还有一些特殊的要求，比如输入端控制电压的正、负极性不能接反，输出电路不允许过压、过流，直流固态继电器的输出端正、负极性绝对不能接反等，否则有可能造成器件不可恢复的损坏。

◆ 使用中的固态继电器，绝对不允许所控负载发生短路，否则会造成器件的永久性损坏。为了确保安全，可在输出端负载回路中串入快速熔断丝或断路器，其额定电流应为工作电流的1.2倍。为了防止固态继电器在使用中因过流而损坏，在选定其额定工作电流时必须要留有足够的降额系数，当负载为电热丝时降额系数取0.8，为白炽灯、变压器时取0.5，为单相交流电机时取0.15～0.24，为直流电机时取0.28～0.42。例如，40W排风扇的工作电流为0.18A，如降额系数设定为0.15时，应选额定工作电流≥1.2A（取标称值2A）的交流固态继电器。当工作环境温度较高（≥50℃）时，选择额定工作电流时更要留有足够的余量。

◆ 固态继电器按输出端极性的不同，可分为直流固态继电器和交流固态继电器两大类，它们的输出端应分别串接在直流或交流电源回路作为负载的开关，不可混用。多个固态继电器的输入端可以串联或并联起来使用，并联时注意总驱动电流必须大于各固态继电器正常接通所需的输入电流之和，串联时注意总驱动电压应大于各固态继电器可接通电压（开启电压）之和。另外，固态继电器的输出端应尽量靠近负载，其输出引线应满足传输负荷电流的需要。

◆ 直流固态继电器在使用时，如果输出端所接负载为感性负载（如直流电磁阀门或电磁铁等），则应按照图3（a）所示，在负载两端并联一只晶体二极管，注意极性不可接反，其额定工作电流应等于负载工作电流，最高反向工作电压应大于负载工作电压的4倍。

◆ 在交流固态继电器的输出端并接RC吸收回路（或压敏电阻器）是很有必要的，它能够防止从电源中传来的尖峰电压、浪涌电压等对输出端开关器件形成的冲击和干扰（甚至造成误动作）。正因为如此，大部分产品已将RC回路作为一个部件固化在了器件内部，使用起来很方便。一般讲，在使用交流固态继电器之前，要搞清该产品内部是否已含有RC回路，如果没有，可按照图3（b）所示接入，其RC具体数值参考附表选择。但要注意，RC回路引线越短、离固态继电器输出端越近越好，以减少引线电感。一般认为，加有RC回路的固态继电器，在用于纯阻性或轻感性负载（如中间继电器、小型接触器、小型电磁阀）时，已满足正常工作要求。在重感性负载场合应用时，还应再增加压敏电阻器（或双向稳压二极管）。压敏电阻器的标称电压、通流量视负载工作情况而定，一般标称电压值可按固态继电器工作电压有效值的1.6～1.9倍选取，安装时亦应尽量减短引线长度。

Tips

1. 普通交流固态继电器的输出端断态漏电流典型值多为5～10mA。其实漏电流的相当部分是以内部RC回路为通路的，

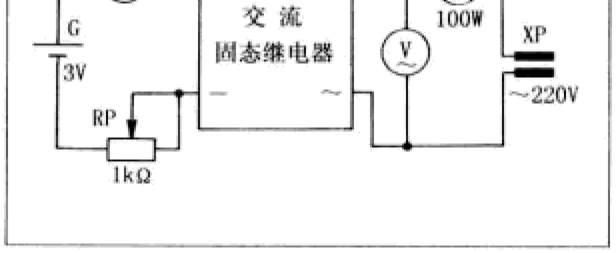


图2 带负载检测接线图

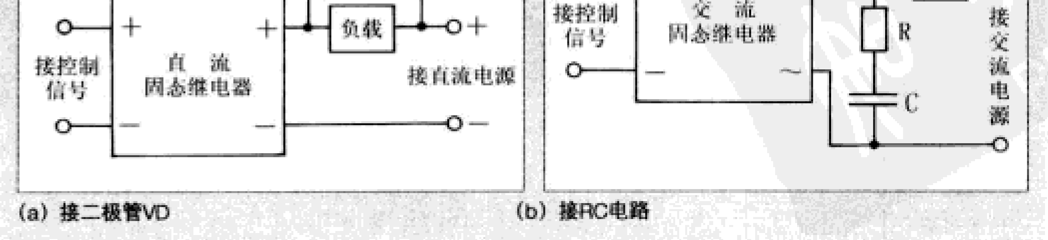


图3 固态继电器输出保护电路

故不含RC回路的固态继电器，其断态漏电流相对要小一些，典型值一般为2～3mA。

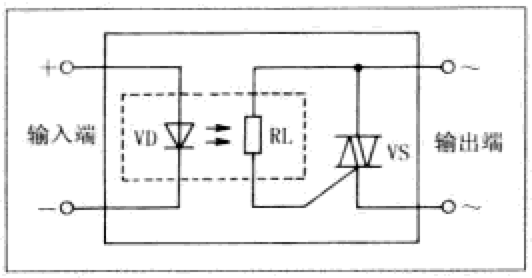
2．对于实际工作电流接近“最小负载电流”参数的被控小负载，须在负载两端并联上一个泄流电阻器，以减小输出端漏电流在负载上产生较高的剩余电压。

◆ 由于制造简繁的原因，交流固态继电器有“过零”和“非过零（即随机）”两种类型。非过零型产品在输入端施加上有效控制信号后，输出端会立即导通，而过零型产品则要等到负载正弦波交流电压在经过零区域（即“过零电压”，一般约±15V)时才会开启导通，但它们的关断时间是一样的，都是在负载交流电压过零区域时关断。虽然过零型产品有可能造成最大半个周期的延时，但却减少了对负载的冲击和产生的射频干扰，成为理想的交流开关器件，因此在控制通断的场合中应用最为广泛。随机型产品的特点是反应速度快，它可以受控于移相触发脉冲信号，达到方便地改变交流电网电压，从而应用于精确地调温、调光、调压等场合。实际应用中，在要求防止射频干扰产生的场合，应选过零型产品为妥。有的场合不必考虑射频干扰的影响，则可选用价格略低的非过零型产品。但在高速通断的场合选择过零型产品时，必须要考虑由于实现过零控制会使输出端动作时间相对于输入信号有一个最大不超过被控交流电半个周期的延时问题。

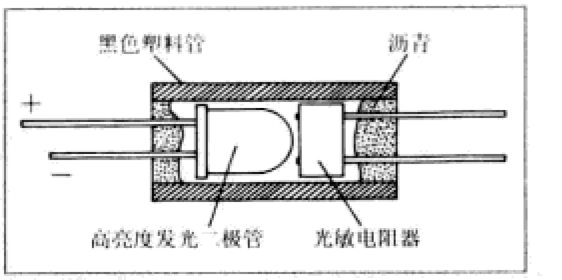
◆ 普通交流固态继电器都是按照在工频电源下工作而设计生产的。在实际应用时，被控交流电源的频率一般允许在40～60Hz范围内，波形要求是正弦波。如在此频率范围外或波形不是纯正弦波（如夹有方波成分）的情况下，能否正常工作要视具体情况（产品适应性、相应辅助电路）而定，不能一概而论。另外，固态继电器的额定工作电流值随着工作环境温度的升高而下降，故使用固态继电器时要特别注意减少其自身发热和增强散热效果。对于必须要在较高温度下使用的产品，一定要按生产厂家提出的要求留有足够的电流容量，并且还要采取可靠的散热措施。

附表 交流固态继电器应配接RC数值一览表

固态继电器额定工作电流(A)		5	10	20	50
电阻器R	阻值(Ω)	110	100	80	40
	功率(W)	按$P_R=U^2\times C\times 10^{-4}$(W)计算，其中：$U$为标称工作电压(V)，C为串联电容值(μF)。			
电容器C	容量(μF)	0.047	0.1	0.15	0.2
	耐压(V)	(1.1～1.5)×标称工作电压			



(a) 电路图



(b) 装配图

图4 模拟交流固态继电器

◆ 业余电子制作或维修时，如果手头缺少合适的交流固态继电器，不妨采用图4(a)所示的模拟电路来代替。图中，发光二极管VD和光敏电阻器RL构成光电耦合器，双向晶闸管VS作为交流开关。VD用ϕ5mm高亮度红色发光二极管，RL用MG45-12型塑料树脂封装光敏电阻器，其他ϕ5mm、亮阻≤2kΩ、暗阻≥1MΩ的光敏电阻器也可代用。VD和RL按照图4(b)所示，先用塑料胶带对顶卷好，再套入一段黑色塑料管内，管的两端用黑色沥青或胶粘封好即成。VS可根据需要采用TLC336A（额定通态电流3A、断态重复峰值电压600V）等任意型号的双向晶闸管，其额定通态电流即为模拟固态继电器的额定工作电流，断态重复峰值电压即为模拟固态继电器的额定输出电压。如被控交流电负载为220V的感性负载，可在VS的主电极（第一阳极和第二阳极）两端并联上型号为MYH1-470/1的压敏电阻器，以防止负载产生的自感电压击穿双向晶闸管。

◆ 实际使用时，VD和RL构成的光电耦合器和双向晶闸管VS均可直接焊接在电路板上，也可将它们用环氧树脂灌封在合适的塑料壳内，制成与普通成品完全一样的模拟交流固态继电器。这个模拟交流固态继电器虽然电路简单（仅用了3个普通元器件）、造价低（不超过5元），但合理应用起来效果不错。笔者数年前在自己设计的霓虹灯循环发光控制器上应用了该模拟电路，经在单位大门口长期使用，证明工作稳定可靠。

◆ 固态继电器导通后输出端存在一定电压降，会不可避免地产生热量，尤其在大电流工作时更显突出。为了避免固态继电器的温升超过允许值，在安装使用时必须要考虑散热效果和安装位置。一般对于5A以下的固体继电器，应尽量安装在机箱通风较好的散热窗旁边，或冷却风吹到的地方。安装时应与印制电路板保持1～2mm的间距，并可将正下方的印制电路板镂空，以利散热。当两只或多只固态继电器并排安装时，应留有适当的间距。对10A以上的固态继电器，应按照厂家提供的具体参数，根据固态继电器实际工作电流大小选配不同面积、不同热阻的散热器。安装时，固态继电器的底板和散热器安装面之间应涂抹导热硅脂，然后用螺丝拧紧。通常，当固态继电器工作电流太大或表面温度接近60℃时，应使用风扇冷却。

不要纸上谈兵，实际加工你所设计的机械吧！

铝材在机器人制作中的使用

◎李伟

如何做机器人？我想和大家讨论的是机械加工部分。以前经常在网上看到很多朋友设计的机器人真的很酷，编写的程序也很专业，但是经常为做不出实物而恼火，我也为他们感到“憋得慌”！朝思暮想的那个属于自己的机器人仿佛在天边召唤。不用再等啦！只需要一些简单的家用工具就可以，让我们朝着目标进发吧！

制作机器人本体，可以选用很多种材料，比如木材、塑料、金属等。就算是写作业的纸、做瓷器的泥土也都能用。这可不是我瞎说，不信可以在网上搜搜。不过对于机器人发烧友来说，纸糊的或者泥捏的机器人总是拿不出手的，木头、塑料做的总是显得不够酷，我们梦想的机器人总是那么高大、坚不可摧、闪闪发光的，所以希望自己做的机器人是金属的。

金属制作的机器人，重量往往是个问题，所以通常我们都会选择铝合金这种材料，这篇文章主要以铝材为主题介绍机器人本体的制作，主要内容包括铝材的选择、加工工具，还有以一个零件为例的加工过程。制作时，我们不用车间里那些车铣刨磨钳等大型加工工具，只用到家庭常用工具，简单有效就是最终目的！

铝材的选择

铝材主要分纯铝和铝合金，其中各种参数可以在《机械设计手册》中找到，就是硬度和延展性什么的，在此不多说，大伙只要知道一些很直观的东西就好。比如纯铝相对软一点，比较容易加工，可以大角度弯折，但是不容易买到。铝合金就比较硬一点，弯折时不要超过90°，并且切记不要反复弯折（纯铝也是这样），否则会导致整个零件报废——我可是经常在这受折磨。另外，铝合金容易购买，经常能见到的铝合金门窗什么的，就是它了。

我们使用时更关心的是铝材的形状，按其分类主要有：板材、角铝、铝棒、铝管。接下来介绍一下我在机器人制作中对各种材料的应用方法。

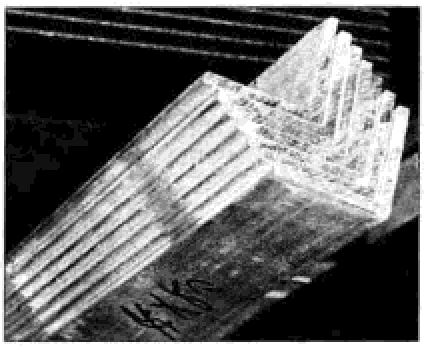
1. 板材

板材的长、宽固然重要，但是在开始设计时，咱们要先考虑它的厚度！这是非常容易出错的地方。开始设计时，不管是在纸上画设计图，还是用软件做模型，都只是纸上谈兵，很少考虑到材料的厚度问题，但是在实际制作中你就会深刻地体会到它给你带来的麻烦——太薄了保证不了强度，太厚了不易加工，还会使你的机器人无比笨重，相应的驱动部分也会带来很大的麻烦……

那到底是厚好还是薄好啊？这是个千古难定的选择题，当然你大可不必利用一堆计算公式和材料参数计算出来，现在也有各种模拟软件来辅助解决这些问题，但是你得保证有设计火箭去火星的耐心。在这里，我推荐一个简单的方法：如果你的机器人大小在50cm×50cm左右，板材厚度1mm就好。如果在100cm×100cm左右，要用2~3mm厚的。这些是指机器人上面的小零件，如果零件跨度较大，比如小车的底盘，那就直接用厚点的。当然，你也可以通过改变其形状来增加强度，这种设计技巧就不在这里讨论了，我只是说个简单的估计法。

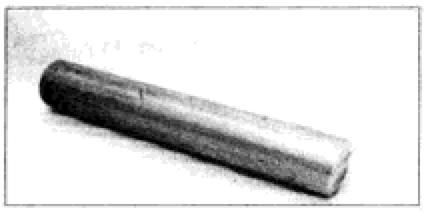
剩下的就是小菜一碟了，长、宽根据自己设计的零件大小来定，然后就可以在网上或者实体店里购买了。我推荐在网上买，一搜就有。而由于咱们搞小制作，一次买得少，五金店里很少提供相应服务，如果你认识老板还好，要不人家都懒得帮你切。

2. 角铝



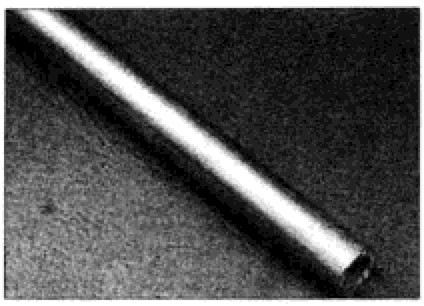
角铝是个好东西，因为它提供了“天然”的90°角，省去弯折的麻烦，而且可以作为制作其他零件的标尺。你也可以将它直接切割成需要的大小，作为机器人的胳膊、腿等，甚至可让它和简单的连接件配合，像乐高玩具那样随意搭建自己的机器人。全国大学生机器人大赛里好多机器人都是直接用角铝搭建骨架，再配合一些电子配件和装饰。我知道很多人会对此投以鄙视的目光，但它确实很实用。

3. 铝棒



实心的铝棒没有专业工具不好加工，所以我直接放弃使用它了。如果有哪位朋友有好的应用方法，欢迎交流。

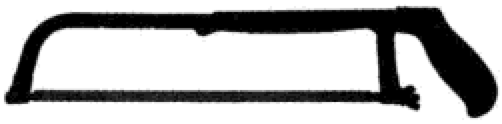
4. 铝管



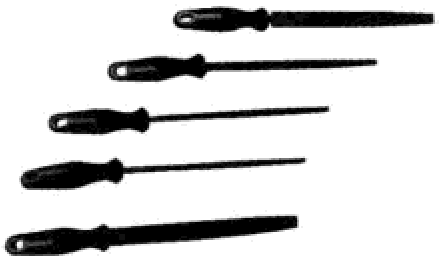
铝管是个很酷的东西，有很多用途，可以用它来为你的机器人战将做枪炮什么的——当然是假的啦！它也可以像角铝那样用来做机器人的骨架，不过鉴于它那圆滑的外表，还是不如角铝容易拼接。有的朋友用它容纳机器人里复杂的电线，这样可以让机器人显得更加整齐美观。

主要加工工具

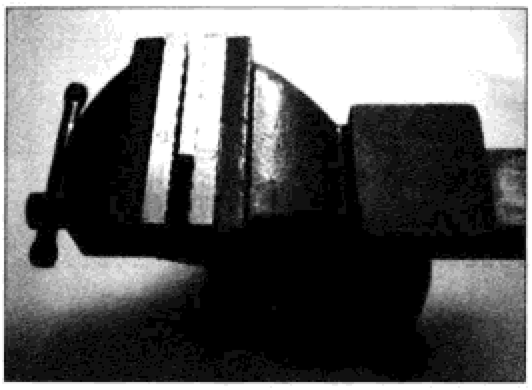
我们尽可能不动用大型设备，而将有限的资金用在机器人制作材料上。但是工欲善其事，必先利其器，基本工具还是必不可少的，接下来就推荐几种。



钢锯：作为切割的主要利器，钢锯当然不可缺少。它便宜又好用，如果你的技术过关的话，用它完全可以做出车、铣、刨等工序的效果，搭配窄锯条后还能锯出各种复杂形状。



锉刀：不同形状的锉刀可以帮我们磨出想要的零件，请多备几把以备不时之需。推荐这种带塑料柄或者木柄的锉刀，那种尖的裸露把会让你受伤，那是有点刺痛，还有点烫伤的感觉，我已代替你试过了，请不要再试了！



台钳：台钳可算是“重型武器”了，它不但能让你省力不少，而且关键时候还能救你一命。请不要吝啬，一定要买个结实好用的，否则后果会很严重。

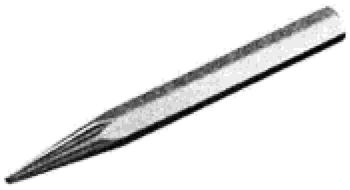
锤子：锤子属于“大规模杀伤性武器”，我倒是经常用它来发泄。在加工的过程中它会起到相当重要的作用。

记号笔：记号笔要用油性的，不要买太粗的，可以在板材上画线。

尺子：尺子不用很精确，就用玻璃钢的绘图用尺就行。虽然它使用久了表面会被划花，刻度变得不清楚，不过我还是感觉比钢尺好用，起码在划线时能看到尺子下面的记号。

电钻：一把能调速的电钻是非常实用的电动工具，安上不同的钻头或者磨头、磨片什么的，你几乎能加工出你想要的任何东西。不过为了安全起见，还是看好说明书，按规定使用好。我经常乱改它，虽然能扩展它的用处，但是不敢保证它的安全，还是不推荐改装。

冲子：冲子其实是很重要的，为了能在准确位置上钻孔，可以先用冲子做个记号。



磨边器：磨边器又叫角磨器，是给胆子大的懒人准备的，因为它开动起来的噪声真是惊心动魄。它会让你削铁如泥，但危险也随之而来，使用时最好戴好护目镜、耳塞什么的，还要注意周围没有易燃物时才可使用。它不是必须的装备，所以最后出场。

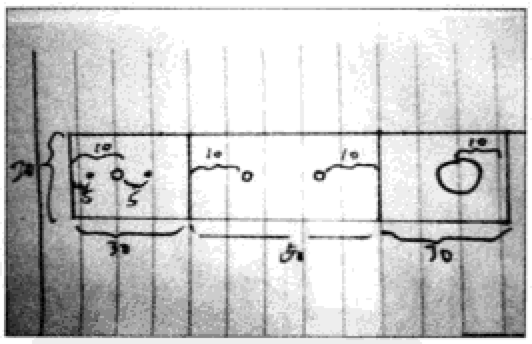
实际加工过程

好了，工具准备齐全了！开动吧！不过在那之前，作为机器人的制造者（一个多么神圣的职业），你必须得有信心和一丝不苟的耐心，一丁点儿的放弃想法都会让你功亏一篑，一丁点儿的粗心大意也会让你前功尽弃，这不是恐吓。

我选的例子是个舵机的架子（为方便说明，尺寸有改动，请谅解），经常用来做机器人的手、胳膊、腿部的关节等。

第一步：设计、画草图

这步绝对不是画画那么简单，正相反，这步是最需要功夫和经验的，当然你还得有个好创意。



在设计过程中，首先想好要实现的功能，想出各种可以解决问题的结构，尽可能多，画在草稿纸上，然后再筛选出简单的和能减少加工步骤的。怎样才算简单呢？除了尺寸小，还要考虑怎么剪裁能避免不必要的、困难的加工。当然，这需要一些经验，开始时做不好也不要紧，有些错误是难免的，在此提醒初学者购买材料时要多买三成。至于图的画法嘛，自己看得懂就好，不用很专业。

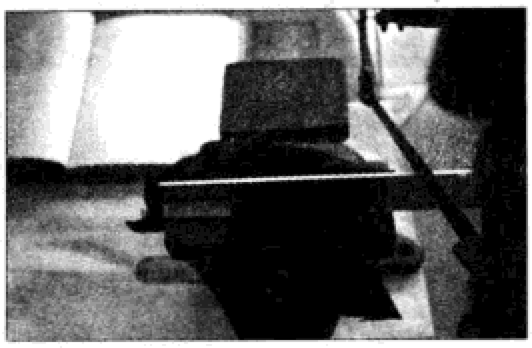
第二步：画线

根据设计图在板材上作出标记。

在铝板上面划线，推荐用刻刀，也可以用记号笔，但缺点是不够精确。条件好的话，还可以用CAD打印出1：1的图纸贴在零件上面来代替手工划线，但是由于需要让图纸比例精确，操作起来比较麻烦，并不推荐。

划线时的光线要好，要不看不清，到时可别抱怨这方法不好。线要划在需要弯折方向的反面，实际尺寸要比设计尺寸稍长，留点再加工余量，后面就会发现这很有用。但是也不用把余量留得太大，否则后面挫平时会很吃力。我是习惯把余量留1mm左右。

第三步：开锯！

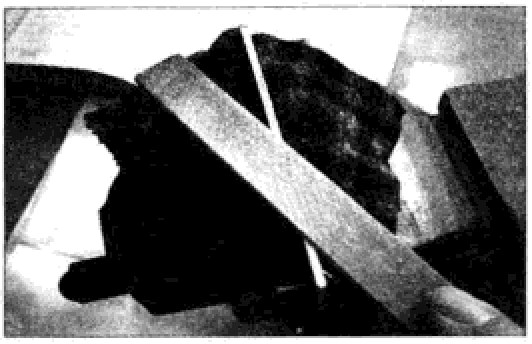


这是个体力活，要保证精力充沛，否则很容易出错。锯的时候要均匀用力，推、拉两个过程中用力大小会有差异，原因就在于锯齿的形状。仔细看一下，不要把锯条装反了，锯齿倒向把手的反面就对了，这样推锯时用力大，有助于发力。

锯的时候要用U型钳夹住板材，不要用手，否则会很痛苦。夹的地方可以用布挡着，以免划坏板材。

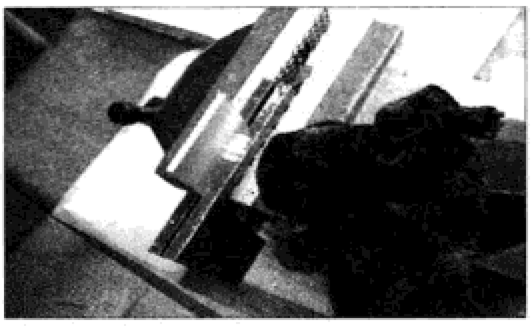
锯的过程要慢，看清画的线，如果发现偏了，要及时修正，否则会越来越偏。锯跟板材的夹角要小于90°，这样能锯开稍大的板。

第四步：用锉刀修整



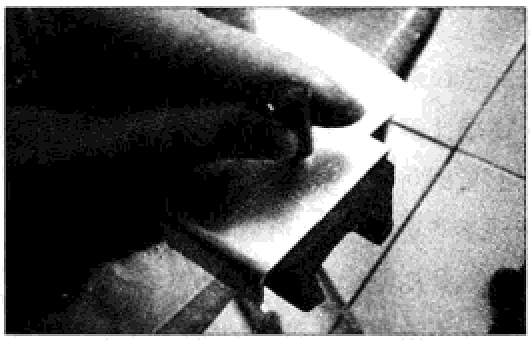
锯下来的板材很不光滑，有毛刺，需要用台钳夹住（夹的部分还要用布垫着），用锉刀修整。注意有些锉刀没有把，小心不要被后面的尖弄伤手。一定要细心看着画的线，不要锉过头，锉掉了就不会再长出来了。如果零件露出台钳较长，要沿着板材来锉，否则声音很刺耳，而且锉出来也很难看。

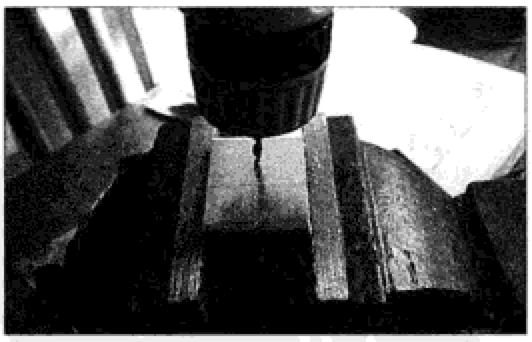
第五步：铝板弯折



不是所有的铝板都能弯折，比如硬铝就不能弯，另外，即使能弯折，也不要反复弯折，否则强度会大大降低。弯折部分有大有小，要区分对待。弯折小零件直接用钳子就可以，不用多解释，只要注意看清画的线就可以。因为铝板有厚度，不像折纸那样能齐着线折叠，总会有点偏移，请自己体会一下。弯折大零件就费点事，最好用一对较厚的铁板来夹住板材，再用台钳夹住铁板，注意铁板边界要与铝板的折线重合，越准越好。固定好后，用包着布的锤子或者橡皮锤适当用力敲打铝板弯折线上方，这样就能弯折出漂亮的折线。击打位置离弯折线越近越好，否则整个板会变弯，很难再调回去了。敲的第一下非常重要，请确认清楚再落锤。一定要一次折好，不要反复修改，否则容易折断。

第六步：打孔





首先要确定孔的位置。如果零件需要弯折的话，建议不要急着打孔，等弯折后再确定打孔位置，因为弯折后会有很大误差。上钻前先用冲子冲一下，可以避免钻时跑偏。钻较大的孔时，先用小钻头打个眼，再用大钻头，也可避免跑偏。如果电钻能无级调速那就太好了，一点一点来，还能不断修正位置！

最后一步，欣赏零件，当然不是单纯地感慨过程的艰辛和感受最后的喜悦，而是检查加工的零件符不符合当初设计的要求，不可马虎，不要等所有零件都加工好了再查，否则最后零件很难组合起来，到时候可是后悔莫及。

所有的零件加工大致都是这些过程，只要细心、坚持不懈，你的手艺会越来越好。希望将来也能看到你的作品。

■ 作者博客：http://blog.sina.com.cn/moren1599

常见机器人竞赛简介

◎胡泊

机器人足球

由于机器人足球的观赏性和竞技性较强，近几年在机器人比赛项目中一直受到较高关注。

将两队由规则允许的机器人球队放置于一块模拟的足球场中，双方机器人尽自己所能将球攻向对方球门。终场后，进球数多的一方为胜。这便是机器人足球比赛的基本规则。

目前机器人足球比赛已成为一种在国际上十分流行的运动，很多国家都有了自己的机器人足球比赛。在世界上比较有影响的赛事主要有两个：一个是由国际机器人足球联合会（FIRA）组织的微机器人世界杯Mirosot，另一个则是由国际人工智能协会组织的机器人世界杯RoboCup。

当然，有的的朋友要说如此复杂的东西，根本不适合几个人搞嘛！别急，Mirosot和RoboCup都推出了自己的仿真比赛平台，你只要拥有一台电脑，懂一些编程，就完全可以参与到这项运动中来。仿真足球的最大好处就是你不必去研究图像处理或是通信方面的技术，可以完全把心思用在足球策略上来，这对那些既喜欢编程又喜欢足球的朋友来说是非常有吸引力的。Mirosot和RoboCup的仿真平台均可以在它们的官方网站上免费下载。

■ 网址：http://www.fira.net/?mid=mirosot　http://www.robocup.org

VEX机器人竞赛

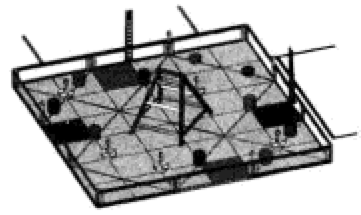
VEX机器人竞赛全称为“美国夏威夷泛太平洋VEX机器人锦标赛”，是一项旨在通过推广教育型机器人，拓展中学生和大学生对科学、技术、工程和数学领域的兴趣，提高并促进学生的团队合作精神、领导才能和解决问题的能力，而由美国夏威夷州政府主办的、面向全世界各国机器人爱好者的机器人竞赛。每年经过各地层层的选拔后，最后在美国夏威夷州火奴鲁鲁举行总决赛。

VEX竞赛的机器人任务每年都会更新，要求参赛者自行设计、制作机器人并进行编程。与一般机器人竞赛所要求的不同，VEX竞赛要求参赛者设计的机器人不单要有全自动完成任务的能力，还要求具有被人遥控来完成任务的要求。一场比赛的时长为140秒，前20秒为自动控制时间，后120秒为人员遥控阶段，最后以两段时间内机器人完成任务的总和来计算最终得分。

VEX竞赛的独到之处就是“联队”的设置。每场比赛中，场地里都会有两支队伍同时比赛，两支队伍完成各自的任务，必要时可以在规则允许的范围内相互帮助。联队由每场比赛前根据规则随机或参赛选手自主选择组成。初赛时的联队配对，每场比赛都不同，复赛时的联队配对则一直持续到比赛最后。由于双方都是比赛现场才第一次配对，所以对双方机器人在场地中的运行和规避都是极大的考验。

2010-2011 VEX竞赛任务：集结号

场地中央放着一架梯子。四面围栏上安装了4个得分标杆。场上有5个活动加重基座，每个基座上均装有一个得分标杆。场上的红、蓝色圆环各有18个，各分成5堆叠放在场上的指定位置。两个参赛队组成的联队从赛场的两边出发进行比赛。参赛队通过完成各种任务（用圆环套住得分标杆，占有得分标杆，爬上或挂在梯子上）竞争得分。

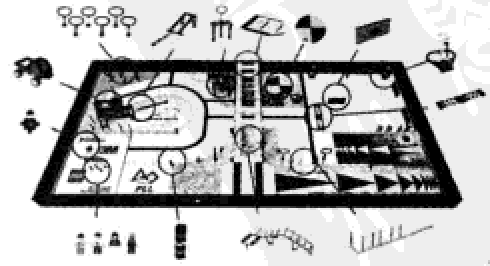


VEX机器人竞赛

FLL（FIRST LEGO League）世界锦标赛是1998年由美国非盈利性机构FIRST（冠军）和丹麦乐高集团合作主办的针对9～16岁孩子的国际性机器人比赛。参赛队伍由10名队员组成，队员们需要建设团队、解决问题和分析思考。每年9月，由教育专家及科学家们精心设计的FLL挑战内容将通过网络在全球同步公布。挑战任务由机器人竞赛和主题研究项目两个部分组成。参加FLL竞赛绝不是仅仅用乐高积木搭建一个机器人完成竞赛任务，参赛队还需要在网上查找资料、向科学家请教、查阅图书馆资料，完成一份FLL要求的调查报告。每年FLL的竞赛主题都与当今世界面临的问题紧密相联。因此想要完成一份精彩的调查报告并不容易。

FLL 2010 智能交通移动挑战赛场地

智能交通移动挑战赛让你在一个模拟的环境中直接感受一辆装有传感器的智能小车在前往某个地点或运输物体的时候，去避开碰撞，并在碰撞中逃生的过程。

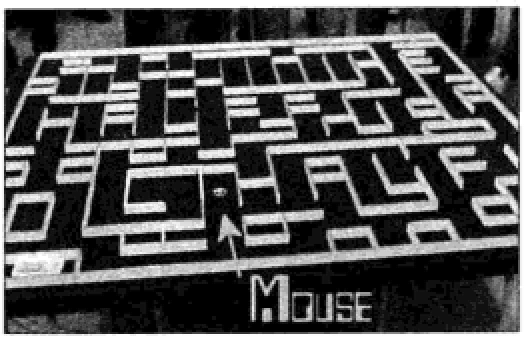


机器人走迷宫比赛

机器人走迷宫，顾名思义，就是将一个全自动的机器人放到一个未知的迷宫中，让机器人从指定的起点走到目标点，以所用时间最少为佳。

机器人走迷宫比赛于1972年由美国《机械》杂志发起，又被称为“电脑鼠走迷宫”比赛。最初比赛是由弹簧驱动的机械鼠进行，直到1977年《IEEE Spectrum》杂志提出了电脑鼠的概念：电脑鼠是一个由微处理器控制的小型机器人车辆，在复杂迷宫中具有译码和导航的功能。首场真正的电脑鼠迷宫比赛于1979年在纽约举行，自1991年以来，国际电工和电子工程学会（IEEE）每年都要举办一次世界级的比赛。为此，许多大学还开设了“电脑鼠原理和制作”选修课程。

迷宫一般由256个方块（单元）组成，每个方块的大小为18cm×18cm，排成16行×16列。迷宫的隔墙板沿方块的四周布设，形成迷宫通道。隔墙板的两个侧面是白色的，顶部是红色的。迷宫的地板为木质材料，涂上不反光的黑漆。隔墙板的侧面和顶部对红外线有反射特性，而地板则对红外线有吸收特性。机器人要求由参赛者自制，一个完整的机器人应包含有机身、电源、传感器、微处理器、电机及驱动等部分。机器人的传感器可分为3组，分别用来感知前、左、右3个方向是否已靠近墙壁。在电机的控制下，机器人能够完成直行、转弯、掉头以及加减速等动作。

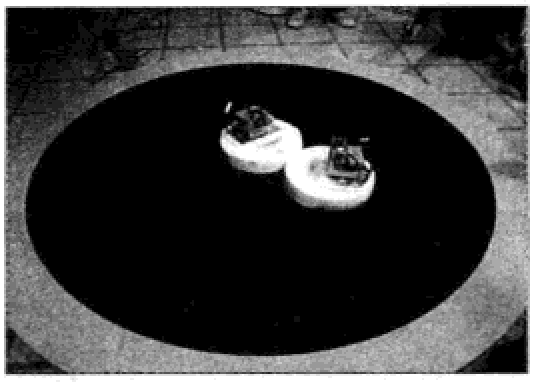


一般迷宫的形状在比赛现场才会公示，因此参赛者在赛前并不知道迷宫的具体样式，如果想在比赛中取得好成绩，优秀的路径算法是必不可少的。

机器人相扑比赛

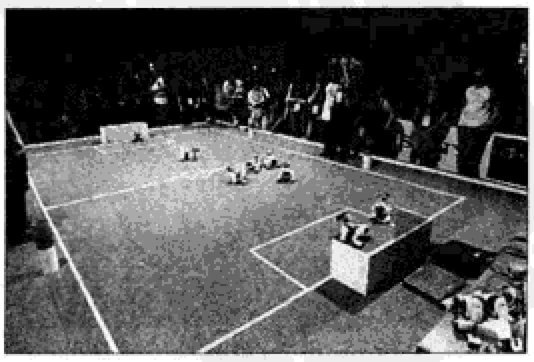
从这个项目的名字便可知道，这是一项起源于日本的机器人比赛项目。第一届机器人相扑比赛于1990年在日本召开，初期赛事规模较小，全日本每年只有数百台机器人参赛，后来逐渐发展到了每年几千台的规模，并逐渐发展为一项国际化的机器人赛事。

机器人相扑比赛的场地是高5cm、直径154cm（这个数字是当时的横纲级相扑选手的体重与身高之和除以2得到的）的圆形台面。台面上敷以黑色的硬质橡胶，硬质橡胶的边缘处涂有5cm宽的浅色线。这种以两色构成边界的比赛场地便于相扑机器人利用低成本的光电传感器进行出界识别。比赛规则对相扑机器人的大小进行了规定，其长和宽各在20cm以内，而对机器人的高度不加限制，但要求机器人的重量不得超过3kg。每局比赛由两台机器人参加，每台机器人将另外一台机器人推出圆形台面得1分，在3分钟的比赛时间内先得到2分者胜出。由于机器人相扑比赛对场地要求简单，每个参赛队只要有一台机器人便可参加，对参赛队负担较小，因此在日本、北美、中国等国家和地区均得到了推广。



机器人世界杯RoboCup

RoboCup即Robot World Cup的缩写，于1997年正式成立，总部设在东京，注册在瑞士伯尔尼。第一届比赛于1997年8月25日在日本名古屋举行，有40多支球队参赛，观众达5000余人。第二届比赛于1998年7月4日至8日在法国巴黎与第16届世界杯足球赛同时举行，参赛队上升到60多支。第三届比赛及学术大会于1999年7月28日至8月4日在瑞典斯德哥尔摩与IJCAI-99联合举行，参赛队多达90余支。在此届比赛上，SONY公司推出了四条腿的机器狗足球赛，引起了很大的轰动，从此便增加了SONY有腿机器人足球赛。第四届比赛及学术大会于2000年8月25日至9月3日在澳大利亚墨尔本举行，正式参赛队首次突破100大关，达104支，一些著名的大学（如美国CMU和Cornell，德国Humboldt）、国立研究院（如美国NASA）和大公司（如日本SONY）均参与了相关的活动。RoboCup的主要项目有电脑仿真比赛、小型足球机器人比赛、中型自主足球机器人比赛和SONY有腿机器人足球比赛。



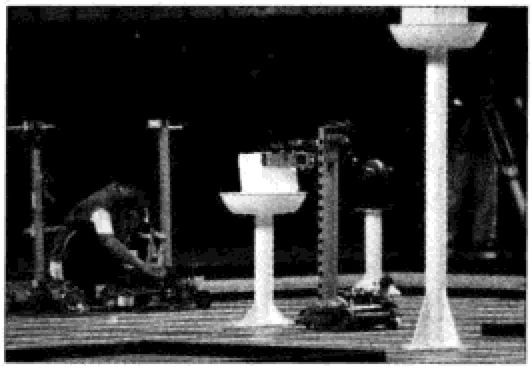
ABU ROBOCON机器人大赛

ABU ROBOCON机器人大赛的前身是1988年日本广播协会的机器人比赛，于2002年由中国、日本、泰国、新加坡和印度尼西亚组成理事会的“亚洲太平洋广播联盟”（亚广联）正式组织成为每年一度的重大国际性赛事。比赛的宗旨是着力培养各国青少年对于高科技的兴趣与爱好，提高各参与国的科技水平，为机器人工业的发展发掘和培养后备人才。各个亚广联的成员机构都有权参加该项目的比赛，但参赛的对象仅限于各国大学生。

ROBOCON比赛的主题每年由承办国提出，大都与承办国的文化特色相关。比如2005年由中国中央电视台承办的国际赛主题为“登长城，点圣火”，而2007年由越南承办的国际赛主题为“下龙湾的传说”（在这届比赛中，中国首次在ROBOCON赛事中夺冠）。

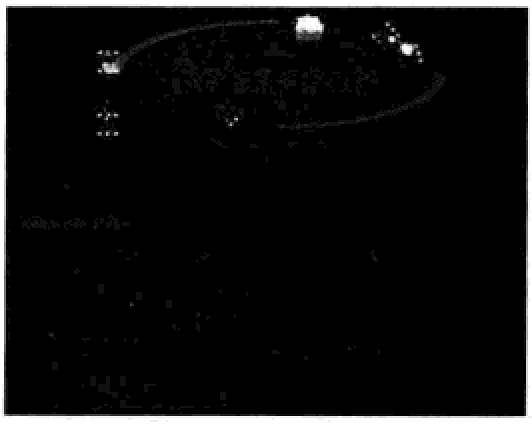
每年的ROBOCON机器人大赛均可以分为前期的国内赛（挑选出可以参加国际赛的代表队）和后期的国际赛。在中国，由中央电视台主办的“全国大学生机器人电视大赛（简称CCTV-ROBOCON）”其实就是为国际赛挑选代表队的国内赛。

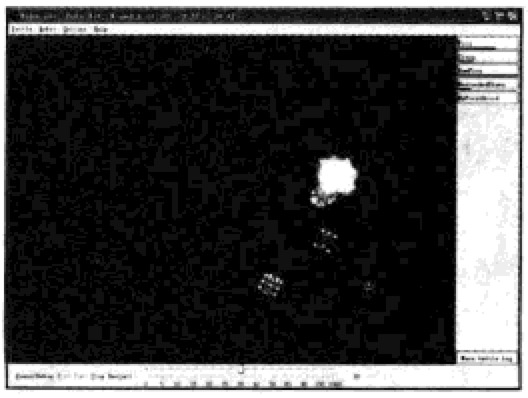
2010年的比赛在埃及举办，比赛的主题是“机器法老建金字塔”，目标是按顺序建造3座金字塔。参赛者应该达到精确、快速和协作，并要坚持不使用块之间的结合材料的主要要求。在3分钟比赛时间内，第一个成功建造完3座金字塔的队伍就是“机器法老”。



RoboCode

RoboCode是一个纯软件的机器人竞技平台，最初由IBM的软件工程师Matthew Nelson开发。Matthew Nelson开发这个竞技平台最初只是为了能与朋友们以Java语言为工具进行一项竞技娱乐，没想到RoboCode一经推出后便大受欢迎，不但吸引了众多Java程序员的关注，甚至还有许多爱好者专门为了参与RoboCode活动而去学习了Java语言。





RoboCode的主题便是坦克对抗。开发者们把各自用Java语言开发的策略算法置于同一虚拟平台下。竞赛平台为每个参赛者提供一台虚拟的坦克，根据参赛者提供的算法来控制坦克的移动和攻击。机器人配有雷达与火炮，选手在躲避对手进攻的同时攻击对手，一场残酷的对抗结束后，场地内存活下来的坦克便为胜者。

RoboCode与上面介绍的其他机器人比赛不同，它不需要竞赛场地与机器人硬件。只要有一台PC，参与者便可以在上面进行开发、竞赛。因此RoboCode受到了众多Java开发团体和高校的欢迎。各种规格的RoboCode比赛得以轰轰烈烈地开展。

与需要硬件平台的机器人竞赛不同，RoboCode平台的机器人不需要在机械加工和电子电路上考虑太多，主要比拼的还是人工智能算法和编程算法。因此与其他机器人竞赛不同，RoboCode更多地吸引了软件与计算机专业的爱好者参与，而机械或电子专业的爱好者相对来讲要少一些。

机器人格斗比赛

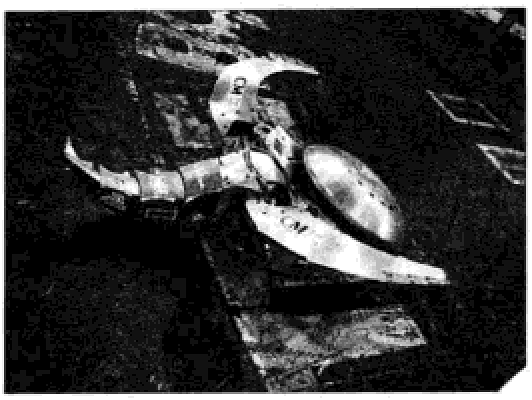
机器人格斗比赛由于场面火爆、惊险刺激在国外受到了广泛的欢迎。但是由于参赛成本较高，对场地的安全性要求严格，在国内一直没有得到广泛推广。

机器人格斗，顾名思义，就是参赛者的机器人在一块固定场地内，在规则允许的范围内利用自身配备的各种设备自由攻击其他机器人，追求使其他机器人丧失行动能力的比赛。

按照控制方式来区分，机器人格斗比赛可分为遥控式和自主式。目前国际上比较火爆的机器人格斗比赛大多为遥控式，自主式由于观赏性不如遥控式，目前的关注度还不高。

提起机器人格斗比赛，就不能不提英国TNN电视台主办的《机器人大擂台》节目。它于1995年首次公演，在该节目中，发烧友设计并制造无线电控制的战斗机器，以角斗士的方式进行战斗，看谁的机器人更胜一筹。目前，参赛的机器人选手也由最初的30多部发展到每年1700多部，比赛的科技含量和激烈程度逐年增加，观众的参与兴趣也与日俱增。同时，通过比赛现场的讲解，该活动也丰富了世界各地青少年的相关科技知识，加深了他们对机器人技术的兴趣，增强了他们的动手能力。

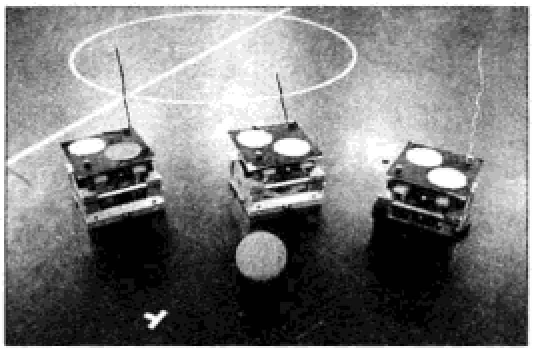
另外一项比较有影响力的机器人格斗比赛是日本的ROBO-ONE比赛，这是一项针对双足步行机器人的格斗大赛。这项赛事最大的特色是要求机器人在比赛中由一曲原创的主题歌伴奏。因此这项比赛不但要求参赛者具有制作机器人的能力，还要具有一定的作曲才能。



微机器人世界杯Mirosot

国际机器人足球联合会（FIRA）成立于1997年，总部设在韩国大田，每年组织一次机器人足球世界杯，相伴而行的还有这一领域的学术研讨。首届机器人足球世界杯于1996年在韩国举行，来自7个国家的23支代表队参加了比赛。第二届比赛于1997年6月举行，来自9个国家的22支代表队参加了2个项目的角逐。第三届比赛在巴黎与第16届足球世界杯同期举行，有13个国家的39个代表队参加了4个项目的决赛。由于参赛队增加，1999年的第四届比赛分4个赛区进行了预选赛，角逐决赛阶段4个项目的32个参赛名额，比赛已达到相当规模和水平。2000年第五届比赛在悉尼与奥运会相伴而行。

FIRA比赛的主要项目有超微机器人足球赛、单微机器人足球赛、微型机器人足球赛、小型机器人足球赛、自主式机器人足球赛、拟人式机器人足球赛和仿真机器人。

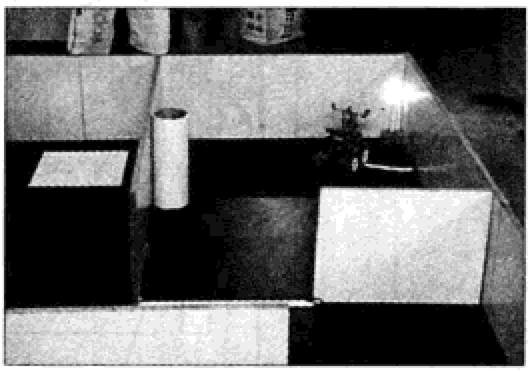


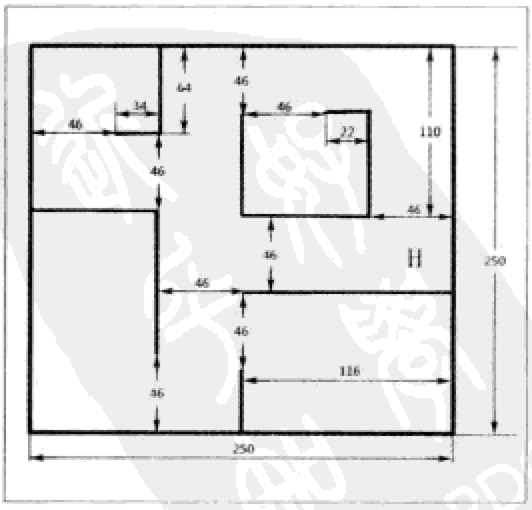
机器人灭火比赛

世界上第一届正规的机器人灭火比赛于1994年在美国三一学院由Jack Mendelssohn教授创办，由于它比较容易入门，所需设备简单，很快就风靡全世界，成为了全球最普及的机器人竞赛项目之一。现在三一学院每年都会举办一次国际性的机器人灭火比赛，吸引着来自全世界众多优秀选手参与角逐。

比赛方式是模拟现实中的火情来让机器人完成灭火。具体的任务是在一个标准场地中的4个房间中随机放入一根蜡烛，机器人从规定的起点出发，在4个房间中遍历寻找蜡烛，找到蜡烛后将其熄灭。以所需时间越短、完成附加任务越多，成绩越好。

参加比赛的机器人由参赛选手自己制作，不能超过规则规定的大小，对驱动方式、控制芯片和灭火方式没有任何限制，选手可以选择自己习惯的控制芯片和开发语言。机器人放入场地启动后，不能再有人工干扰，必需自主完成灭火任务。除了熄灭蜡烛，比赛中还有一些可选难度，比如在场地中添加一些斜面、障碍物等。一般来说，参赛选手都会在保证稳定性的前提下尽可能地提升自己机器人的移动速度，追求在尽量短的时间内熄灭蜡烛。





机器人灭火比赛场地图

◎姚宗栋

天籁之音
人类美好的追求（2）

在上期介绍了19世纪最先发明的5款扬声器，本期介绍1930年左右发明的6款扬声器，下期将介绍气体放电式扬声器、气垫（声悬浮）式低音扬声器和球顶形高音扬声器等。

7. 带式扬声器的发明

1923年12月20日著名的半导体科学家沃尔特·肖特基（Walter Schottky）和西门子·哈尔科斯（Siemens Halske）申请了No.107741带式电声换能器的专利（见图6）。从图中可以看出其技术方案是将一个水平波浪型纯铝薄膜安装在磁体两极之间，波浪形纯铝膜可以降低纵向硬度，从而降低了谐振频率。音频电流通入铝带，使其在周围的磁场作用下发生相应的振动，从而向外辐射声音信号。因为整个振动膜片都处于磁场中，均衡地受到电磁力的作用，而且质量一般可以做得很轻，所以其频响曲线平直，高频上限极高，有着非常好的瞬态特性，在中、高音重放领域有着一定的优势。

8. 宽频直接辐射式扬声器技术的发明

1924年美国通用电器公司的赖斯（Chester W. Rice）和克洛格（Edward W Kellogg）申请了宽频带“直接辐射式扬声器”的美国No.1795214专利（见图7）。其技术特点主要有两个：（1）振膜的支撑系统变得相对更为柔韧灵活，这可以降低扬声器的谐振频率，使其有效工作频率范围变得更宽，获得更好的音质。（2）增加了一个置于中心的音圈振动方向保护支架，这可以进一步加强音圈轴向振动时的稳定性，避免音圈在大幅度振动时与磁极发生摩擦、碰撞而导致失真和损坏。

1925年赖斯和克洛格经过进一步的研究后又发表了论文“新型非号筒式单元”，详细介绍了直接辐射式扬声器的工作原理以及扬声器单元设计中的三个重要理论：（1）扬声器输出声功率与扬声器的声辐射阻抗和膜片速度平方的乘积成正比；（2）小振膜产生的声辐射的力阻与频率的平方成比例；（3）为消除振动系统在谐振时造成的失真，扬声器的振动系统应设计在质量控制区。这些是直接辐射式扬声器设计时所要遵循的基本理论，因此人们又将这两人视为扬声器真正的发明者，将1925年视为电动式扬声器的“元年”。克洛格于1930年5月13日获得了这项技术的美国专利No.1758797（见图8）。

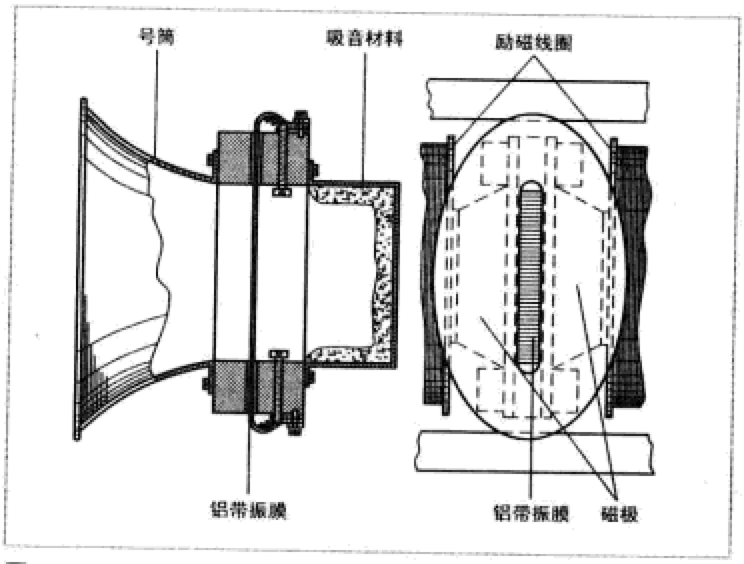


图6

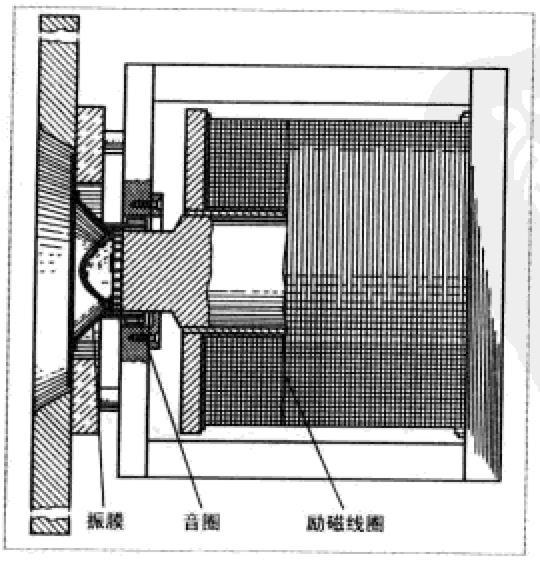


图7

9. 同轴式扬声器的发明

1927年英国天朗公司的工程师赫尔曼·方杰明（Herman J Fanger）在一次试验中，将两个独立的振动膜、两个独立的音圈、两套对立的输入线路

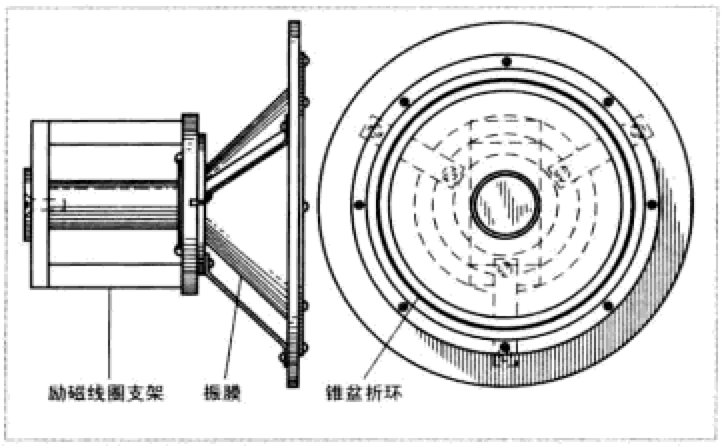


图8

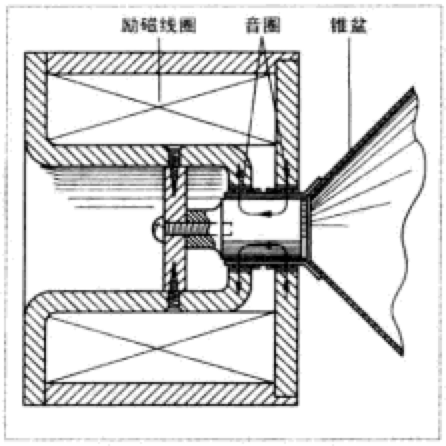


图9

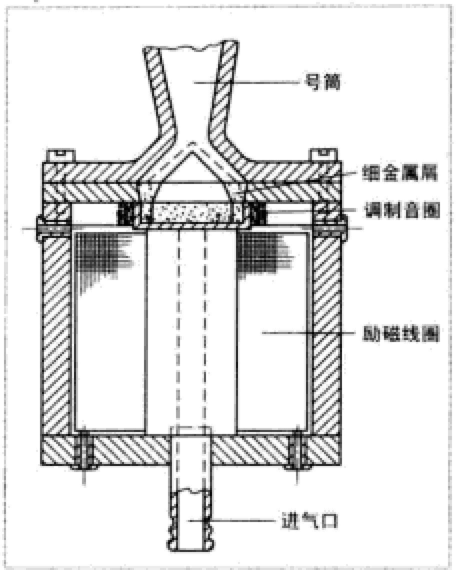


图10

整合到了一个动圈扬声器中，从而将高音扬声器和低音扬声器合为一体，他惊奇地发现这样可以有效消除高、低音扬声器的相位差。由于这种扬声器的高、低音都是从同一点发出，因此被命名为同轴扬声器，成为Hi-Fi扬声器的先驱。1928年9月25日赫尔曼·方杰明提出“同轴式扬声器”的No.1895071美国专利申请（见图9）。

10. 气流调制扬声器的发明

1927年12月10日曾经发明了电子真空三极管的美国科学家李·德·福雷斯特（Lee De Forest）申请了一种气动式扬声器的美国专利No.1766612。详细地描述了利用音频信号对高压气流进行调制发声的扬声器（见图10）。其主要由供应稳定高压气体的进气口，气流调制部分的励磁线圈、调制音圈、细小金属屑层和号筒组成。通过调制音圈和励磁线圈产生的磁场共同作用于细小金属屑，使其产生随音频信号变化的相应疏密变化，使通过其间隙的气流的强弱得到相应的调制。强弱变化的气流通过号筒推动外界空气振动发出声音。气流调制式扬声器单体可以输出的声功率最大可以达到数千声瓦，要大大超过一般振膜式扬声器，可以应用于远距离大功率声音广播、模拟火箭发射等需要大功率声输出的试验场合，但其设备复杂、工作频带窄、失真大。

11. 静电扬声器的发明

1929年9月27日美国科学家凯洛格（E. W. Kellogg）首次提出利用静电电场力工作的美国No. 1983377静电扬声器专利申请（见图11）。图中描述了两种技术方案，上方为“推挽式”方案，振膜的两侧为布满出声孔的导电极板，当在振膜和两侧导电极板上加上适当的音频高压电信号后，中间的振膜就会在两侧极板相反的作用力的共同驱动下振动，推动空气振动发声。下方的方案类似于模拟放大电路中的“甲类”工作状态。静电式扬声器的振膜非常轻，而且受到的驱动力比较均衡，可以发出自然纯净的声音，但是低频还原能力较差、体积庞大、需要高压等缺点限制着它的推广普及。

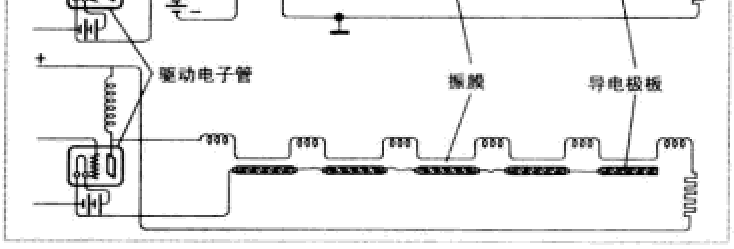


图11

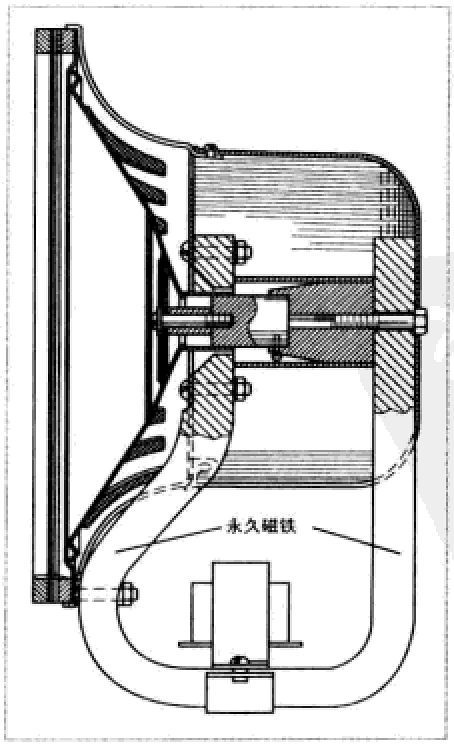


图12

12. 用永久磁铁为磁极的扬声器的发明

1930年彼得·延森（Peter Jensen）推出了音响界第一个以永久磁铁为磁极的扬声器单元“PM1”，并于1931年7月25日申请了No.1886816的美国专利（见图12），由图中可以看出，先前为扬声器的音圈提供稳定磁场的体积庞大笨重的励磁线圈已经被马蹄形磁铁所取代，这一改进省掉原先为励磁线圈提供电流的供电电源，这样可以简化电路、降低功耗，而且也消除了因为励磁线圈的供电电源不稳定而带来的各种负面影响。由于永久磁铁扬声器技术所具有的巨大优势，在几年的时间里励磁式扬声器很快被永久磁铁扬声器所取代。

短波传播的奥秘

◎R.Brown（NM7M）著　刘璞（BA7JS）编译

信号强度与噪声

任何一次成功的通联，有3个要素在任何时候都很重要：临界频率、信号强度以及噪声功率。上期，我们通过分析信号的路径，了解了临界频率。本期，我们了解一下信号的强度与噪声。

我们先来看看“小枪”使用简单的、理想化的方式进行DX通联的能力。我们虚拟一位家住美国科罗拉多州博尔德（Boulder, CO，这是对无线电感兴趣的人心中的“圣地”）的“小枪”。然后，我们用可以覆盖1300km距离的14MHz射线轨迹，在拂晓时分去到密苏里州的圣路易斯（St. Louis, MO）。在20m波段上，这很难算得上是DX，但是我们总要有一个简单的开始。

我们现在要解决的问题是，在这个距离上，“小枪”的信号强度通过了之前指定的电离层后还剩下多少。

过程的第一个步骤，是考虑“小枪”由于博尔德到圣路易斯这段距离上的信号扩散而导致的信号损失。我们从一个极不现实的情况表述开始，想象“小枪”正在使用一个处于自由空间里神话般的各向同性辐射器。于是，如果来自“小枪”电台的100W功率在各个方向上被均等地辐射出去，我们简单地用一个以1300km为半径的球体的表面积相除，就可以得到1300km处每平方米的射频功率。其结果为4.7E-12W/m^2，当然这是个小数字。

在无线电的世界中，大和小的数字都用对数来处理（以10为底）。如果我们使用1 W/m^{2}作为参考值，那么“小枪”在1300km处的射频功率（$P1$）与参考功率值（$P2$）的比率值为4.7E-12。这个功率比值可以用分贝（dB）按下列定义表示：

dB=10 log（$P1/P2$）

上述功率比为-113dB，就是说在这个距离上，小枪的射频功率比1W/m^{2}要低113分贝。

作为改进这个计算的一个步骤，我们假定小枪的全向同性辐射器（即理想天线，用于所有实际应用天线的参考）不是在自由空间中，而是一个位于理想导电地面之上的半波长天线。这意味着所有原本向着小枪的地平面以下辐射的射频，现在被地面反射向上，并加入到原来在地平面以上的那部分射频。

但是这种相加是使用射线（包括直射的和反射的）的电场强度E的幅度和相位而获得的。在场强幅度互相增加的方向上，信号幅度会加倍，而（场强）密度会增加4倍。于是，在那些直射的和反射的射线同相的方向上，小枪的信号强度会增加6dB，使得小枪的信号在最强的方向上提升为-107dB。

如果这位“小枪”的天线是个双极天线，它对于理想天线会有2.1dB的增益。当它位于理想地面半个波长上方时，它的最强信号辐射角为（高于水平面）30°。但我们说过，“小枪”的天线是一个3单元的八木天线，所以，它对理想天线的增益为6dB，这使得小枪的信号提升为-101dBW/m^2。但由于去到圣路易斯的射线会比这个辐射角略低一些，八木天线的垂直发射方向图表明信号应当往下修正大约1dB，使之成为-102dBW/m^2。

从一开始，我们已经说明，应当用理想的方法进行实情调查，实际中，还有信号扩散、电离层的球面形状或曲率影响信号密度、路径长度、D层对信号的吸收等现实问题。正是这些原因影响了“小枪”在路径这一头圣路易斯的信号强度。

我们重点看看D层对信号的影响。在白天，它可以减弱信号，对低频信号较高频信号为甚。基本上，D层电子被路过的射频所激励进入振荡运动，但在这个深度上，D层电子与大气层的组成成分相碰撞，并向其转移能量。这意味着大气层被经过的射频束所加热，假定能量守恒，其结果就是信号强度受损。

由电波向大气层转移能量分为两个步骤：第一步为D层电子从经过的电波获取能量，第二步为当其与一个分子发生碰撞并转移能量。在大气层的深处，当电离层电子对于原子和分子具有一个很高的碰撞频率（f_{coll}，大约每秒20亿或2E+9次的碰撞）。射频电波在碰撞发生之前，极少有机会转移任何能量。所以，对于低于大约30MHz的高频频率，射频能量的吸收是很低的。

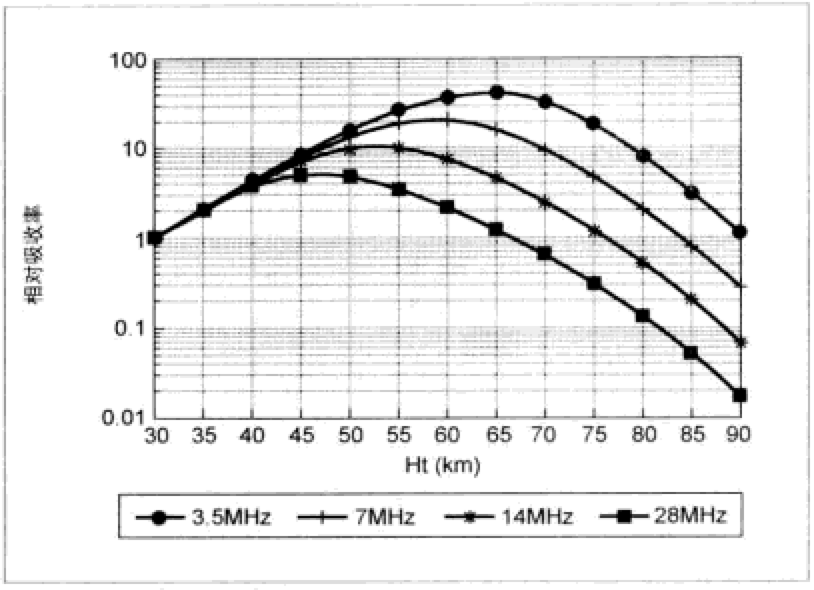


图1 每电子的相对吸收效率

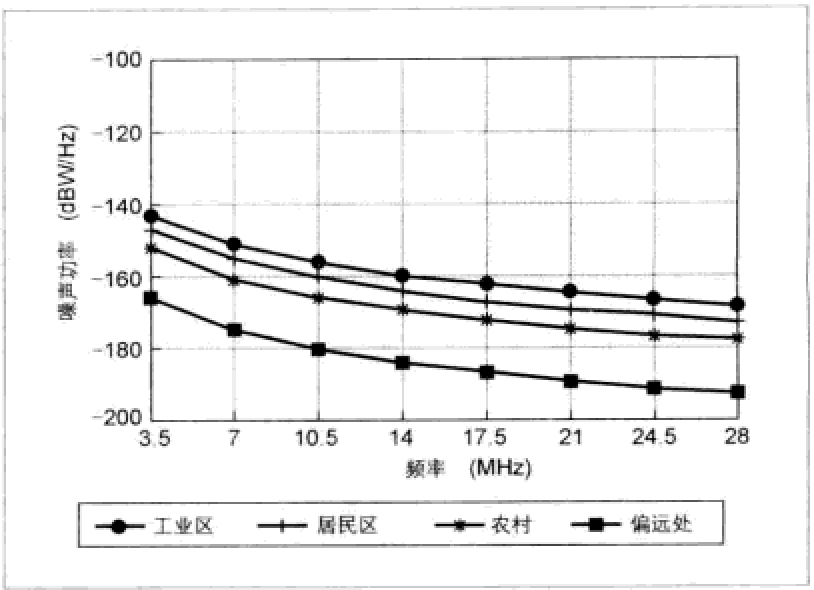


图2 平均人造噪声功率作为在不同环境下的频率的函数

但是在D层的高处，例如大约90km，碰撞率要低得多（大约每秒300000或3E+5次碰撞），甚至比典型的业余操作频率更低。其结果是，一个电离层电子进行很多次的振荡，将原始电波的射频能量再发射出来，直到它最终发生碰撞，并转移一些能量到大气层中去。

在这两个极端情况之间，基本上就是当碰撞和所操作的频率大致相等的时候，从经过的电波中吸收能量会达到一个最大值。在这种情况下，吸收过程的第一步和第二步都以一个彼此相当的速率进行。

在这方面，在D层的高度上以及高频频谱中，5个有谐振关系的业余波段中，每电子的相对吸收效率如图1所示。在白天，“小枪”很难在7MHz波段上通联到真正的DX电台，而在晚上却容易得多。在夜晚的条件下，D层电子总数下降至低水平，这是因为作为电离主要来源的太阳X射线流不存在了，而仅存的电离来源是分散的阳光以及通过该层的低流量的天体宇宙射线。

我们假设接收天线是一个高度为半个波长且位于理想地面的半波双极天线，且经过调整，其轴（也就是天线振子的方向）垂直于“小枪”过来的信号方向。有两种方式来找出“小枪”的射频功率有多少到达了接收机的输入端。一种方式是在双极天线处找出“小枪”信号的电场强度，然后找出感应的电压，这种方式较难。另一种方式是把接收机的天线当作对经过的射频的一个采集器。在这种方法中，你只需要知道采集的面积或双极天线的口径。

假定没有其他的损耗，在接收机上的这个功率必须与来自大气层的以及人造来源的噪声功率进行比较，以确定“小枪”的信号是否可读。

于是我们要转入讨论噪声了。现在的问题是信号强度是否足够大，用以同接收端的噪声进行竞争。这是个很重要的问题，特别是源自人造的噪声。

噪声总是在接收机的输出上存在，到达天线的噪声连同进来的信号一起被放大。在3种无线电噪声中——天体、大气和人造——我们只对最后两种加以考虑，因为天体噪声除了在最偏僻的地点外，可以忽略不计。

另外两种噪声，大气和人造噪声，后者我们可能较为熟悉，因为大多数DX操作员都不时地被电动工具的脉冲噪声、汽车点火器噪声所困扰，或者是霓虹灯稳定的“嗡嗡”声在几个波段上肆虐。噪声天生就是宽带的，会根据所使用的接收机带宽在你的接收机输出上变化，例如业余爱好者CW用500Hz，而SSB用2400Hz，而中波（调幅广播）使用6000Hz。

人造噪声在相当程度上是与场所或时间相关的，研究显示，平均噪声功率可以用人口密度或区域进行分类——工业区、居民区、乡下以及偏僻无人区。研究表明，噪声功率随频率增加而降低，如图2所示。

在各种场所环境和整个频谱范围内，调查提供了噪声功率的平均水平数据，也给出了噪声变化的信息。人造噪声水平在人们醒着的那些小时内达到最大值。

大气噪声来源于各类气象过程，比如闪电。这种放电引起一个宽带的无线电噪声发射，并和任何其他信号一样地传播，较高的频率大部分被限制在F层峰值处以下，而较低的频率在白天被D层所吸收。

闪电的几何分布随季节而变化，特别是每年12月、1月和2月期间位于南美洲、南非和印度尼西亚的那些强烈的来源地，以及6月、7月和8月更靠近赤道的地方。

总而言之，为了任何一次成功的联络，3个条件必须满足：信号必须能以所操作的频率通过(电离层)、信号强度必须足够，以及噪声水平必须远比信号强度低。噪声功率，特别是人造来源的，在任何时间、任何频率上都很重要，而信号吸收在高频频谱的低端起主导作用。

滤掉某些频率分量

（本文摘编自此书）

◎Charles Platt著

在这个实验中，你将看到如何利用自感和电容来对音频信号进行滤波。你将建立一个分频网络：一种简单电路，它将低频送到一个地方，而将高频送到另外一个地方。

以下是你需要用到的东西：

■ 扬声器，8Ω，直径5英寸，数量：1个。

■ 音频放大器，TEA2025B型或其他类似产品，数量：1个。

■ 非极化电解电容器（也称双极性电容器），47μF，数量：2个。它们的上面应该印有NP或BP字样，以表示“非极化”或“双极性”。

■ 非极化电解电容器，100μF，数量：5个。由于你将处理的是在正、负之间交替变化的音频信号，因此你无法使用常用的极化电解电容器。如果你想免除订购非极化电容器的麻烦和费用，可以将两个常用的电解电容器极性相反地串联起来，使它们的负端连接在中间，来代替非极化电容器。只是需要记住，当你将电容器串联时，总电容只有单个电容器电容的一半。因此，你需要两个220μF的电解电容器串联，才能得到一个110μF的电容。

■ 电位器，100kΩ（如果可能，请选用有音频抽头的），数量：1个。

■ 线圈，用于分频网络的那种，数量：1个。你可以在网上搜索“crossover”（分频）和“coil”（线圈）这两个关键词。不过当你找不到价格合适的线圈时，可以用一卷100英尺长的20号线规的连接线将就一下。

■ 塑料盒，数量：1个。

步骤

音频放大器芯片的作用在于提供足够的功率，以便能够从扬声器中发出像样一点的声音。使用5英寸扬声器的目的，是为了让你能够听到更低频的声音（比我们前面使用的小扬声器的低频更低）。低音调具有较长的波长，小的扬声器不能有效地产生这种声音。

也许你还记得，在搭建入侵报警器电路时，如果你能够阻止扬声器锥体后部发出的声波抵消锥体前方发出的声波，那么扬声器就能够发出更大的声音。达到这个目标的最明显的方法就是把扬声器放在一个盒子里。我建议使用塑料盒子（见图1，图2），因为塑料盒子便宜，而我们除了想要听到一些低频音之外，并不怎么在意声音的质量。

一般来讲，扬声器应该安装在厚而重的材料制成的箱体里，这种箱体应该具有极低的谐振频率——低于人类听觉频率的下限。为了使塑料盒的谐振最小，在盖上盖子之前，你可以在里面放入一些柔软、沉重的织物。一条手巾或几只袜子就足以吸收一些振动。

加入放大器

我所推荐的TEA2025B芯片是专用于廉价的便携单放机和CD机的，可以工作于立体声模式和单声道模式，供电的允许范围宽达3V到9V。在9V供电并且将芯片的两侧连接起来驱动单个8Ω的扬声器时，它可以产生5W的音频功率。比起每个声道的额定功率为100W的普通家庭影院系统来，5W的功率算不得什么。

在这个实验项目中，必须在供电电源的两端接一个常用的100μF电解电容

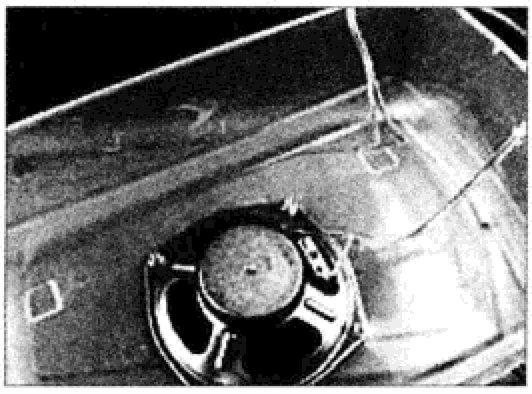


图1 如果你希望能够从扬声器中听到一些低音（低频）的话，谐振盒是必不可少的。对于演示来讲，一个廉价的塑料盒就足以满足要求。

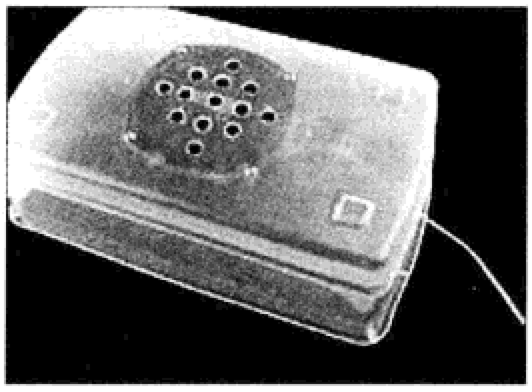


图2 在盒子的底部钻一些1.3cm的孔，然后用螺钉将扬声器安装到位，并通过盒子一端的一个孔布一条线。盖上盖子，你就有了一个不是特别高保真的音响。

器，否则放大器将拾取到电路中的微小电压尖峰并将其放大。

图3所示电路原理图中的输入端可以接收一般媒体播放器（例如便携式MP3播放器、CD播放器或单放机）的信号。为了连接耳机插孔与面包板，你可以使用一个转接器将耳机插孔转换成一对RCA型的音频插孔，然后如图4所示那样从其中一个插孔上接出一根导线。再将该导线连接到面包板电路中33kΩ的电阻器上。RCA插座上镀铬的颈部（有时是镀金的，或者至少是金色的）必须连接到面包板上供电电源的负端，否则你将听不到任何声音。你可以忽略转接器上的第二个输出，因为我们的电路工作于单声道而不是立体声模式。

33kΩ的电阻器用于防止放大器过载，是必不可少的。如果你无法从你的音乐播放器得到足够大的音量，那么可以减小33kΩ电阻器的阻值。如果音乐过大或失真，可以增大该阻值。你也可以试着将其旁边的10kΩ电阻器忽略掉或者增大其阻值，引入这个电阻的目的是为了降低背景的交流噪声。

我在电路原理图的上部画了两个开关：一个用来短路线圈，一个用来短路电容器。你也可以用鳄鱼夹来代替开关，只要方便你比较将这两个元件分别插入到电路以后的声音就可以了。

图5所示为使用一卷连接线来组成线圈的情况。躺在塑料盒顶部、尚未夹东西的红色和黑色鳄鱼夹将连接到芯片的输出（引脚2和引脚15）。这里不存在极性的问题，哪个夹子连接到哪个引脚都没有关系。

在加电源之前，先将音乐来源的音量控制旋到最小。在开通放大器的时候，如果你听到“嗡嗡”或“噼啪”的噪声，请不要惊讶，它会拾取任何的杂散电压，因为在这个简单的实验中，我并没有建议你对输入进行屏蔽，由于放大器电路的导线可以起到天线的作用，因此

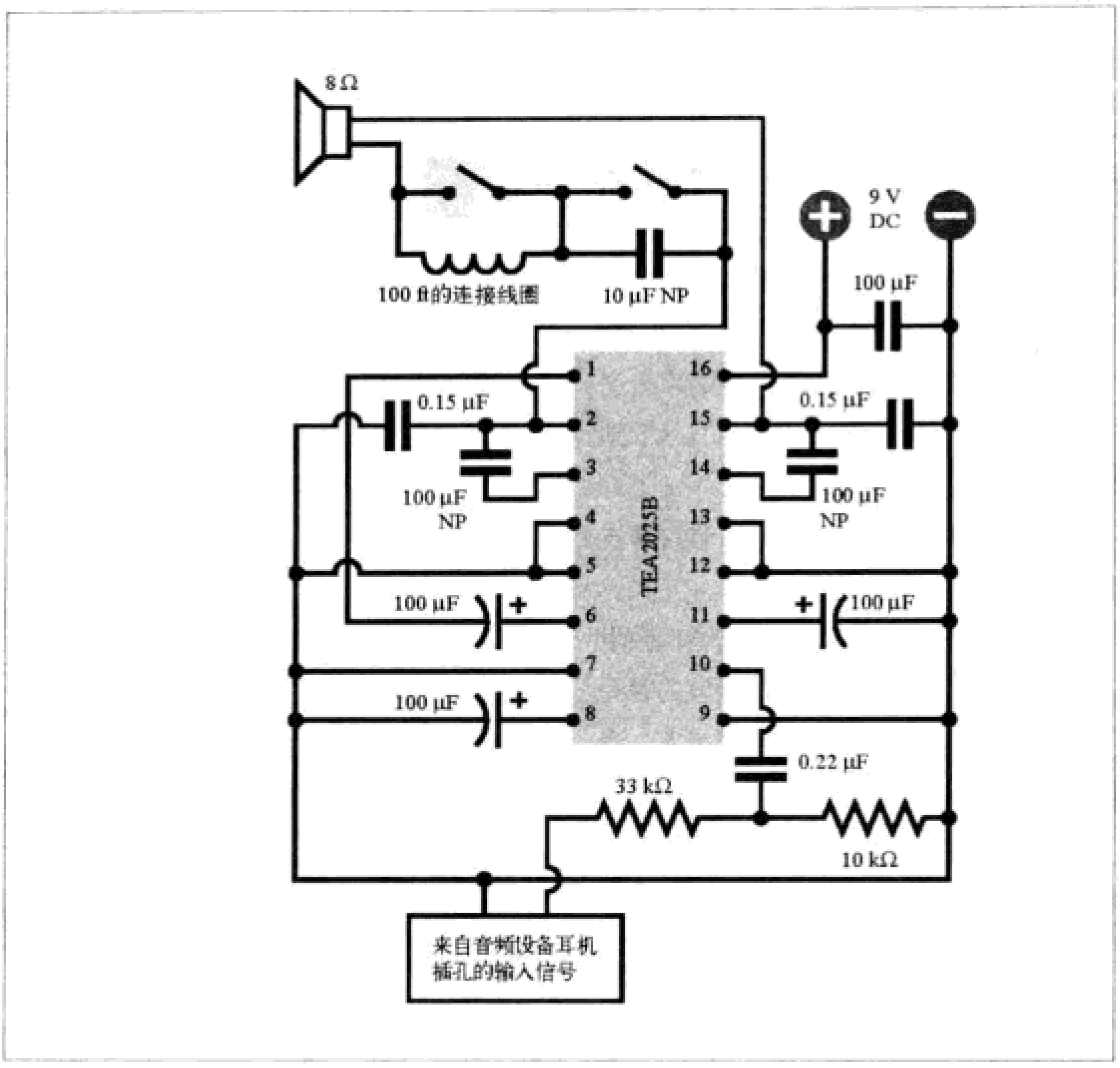


图3 音频放大器芯片周围需要按照图中的样子连接电容器，其中NP表示非极化电容器。BP表示双极性，也常用来表示同一个意思。可以让芯片的引脚2和引脚15的输出通过一个线圈或者一个10μF的电容器，以演示音频滤波（注：此电路摘自原书，元器件符号未按国内标准重绘）。

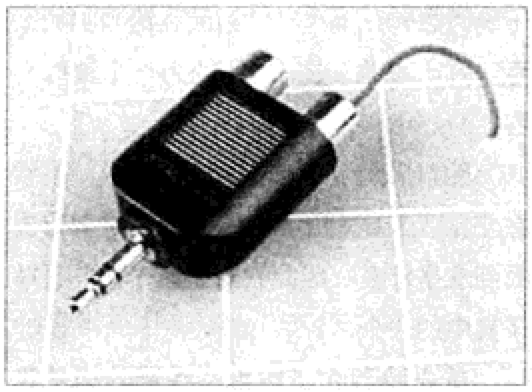


图4 为了对来自音乐播放器的耳机插座的输出进行采样，你可以采用这个转换器，并将一根连接线剥去绝缘层的一端压入其中的一个插槽中。然后再使用带鳄鱼夹的跳接线将声音信号连接到你的面包板电路。不要忘记用另外一根跳接线来将插孔的外部连接到面包板供电电源的负端。因为我们仅仅使用一个扬声器，放大器仅仅连接到你的播放器的立体声输出的一个声道，另一个被忽略了。

图5 塑料盒顶部的红色和黑色鳄鱼夹应该连接到你的放大器芯片的输出引脚。红色的跳接线把通过（连接线构成的）线圈的信号送往扬声器。请注意当你把线圈短路之后声音发生的改变。

会拾取噪声。

请注意，如果你在一个导电性的桌面上使用放大器，你还可能受到一些其他噪声的干扰。请将这个实验项目中的铝箔和导电性泡沫拿走。让你的播放器播放音乐，并且缓慢地调高其音量，直到你能够听到音乐为止。如果你什么都没听到，那你就必须检查一下看看电路有无错误。

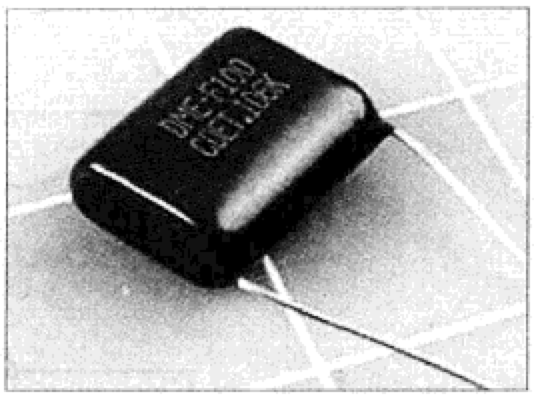


图6 有些非电解电容器没有极性，例如图中的这个高质量的聚酯薄膜电容器。然而它们一般都比较昂贵，并且很难找到容值高于10μF的。

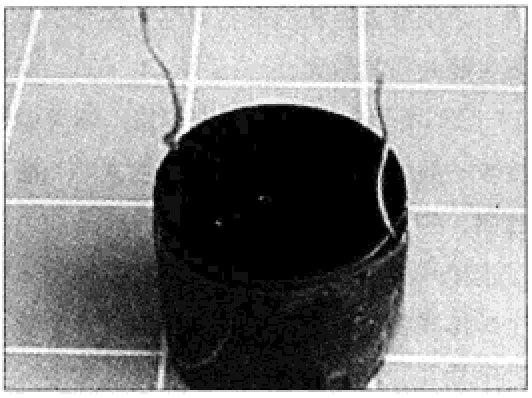


图7 这个高端音频器件用在亚低音扬声器中，用来阻断高频。在它里面我们会找到什么奇特的元件呢？

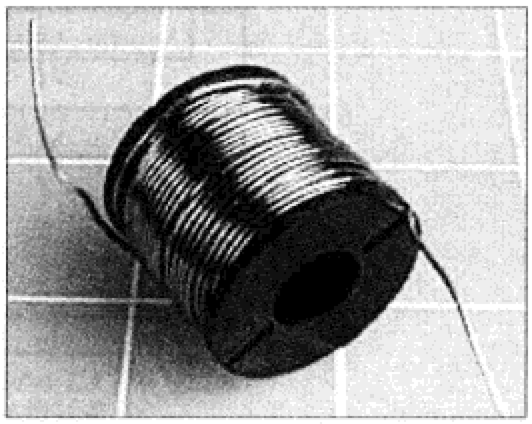


图8 去掉黑色的绑带之后，露出了一个漆包线做成的线圈。

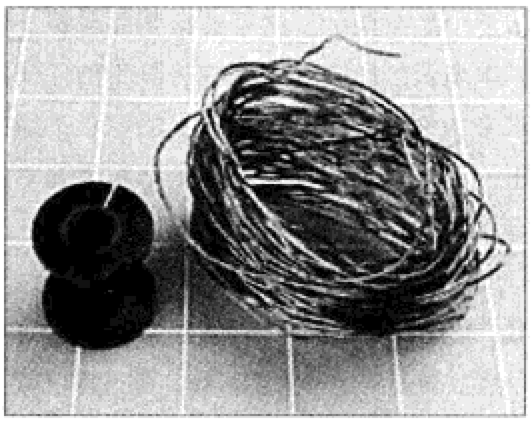


图9 音频分频线圈由一个塑料卷筒和一些导线组成，此外并无其他东西。

接下来是这个实验中有趣的部分。将100英尺的连接线卷接在放大器的一个输入端和扬声器的一个输出端之间（到底用哪端无关紧要），如果你使用的是开关的话，请断开那个将线圈短路的开关。你将发现音乐中没有了所有的高频段的响应。作为对比，如果你去掉线圈，代之以一个10μF的电容器，你将发现音乐的声音变得“尖细”，表明其中没有了所有的低频部分，剩下的只是高频。

你刚刚测试了两种十分简单的滤波器，以下是它们的功能：

线圈是一个低通滤波器。它通低频阻高频，因为短周期的音频没有足够的时间去克服线圈的自感。线圈的自感越大，消除的频率范围就越宽。

电容器是一个高通滤波器。它通高频阻低频，因为较长周期的音频会使电容器充满电，然后电容器就不能通过电流了。电容器的电容越小，消除的频率范围就越宽。

你可以更深入地去了解滤波器的设计，可以使用线圈和电容器的复杂组合来阻断音频频谱中任意点的频率。在网上搜索音频滤波器的话，你会找到成百上千的结果。

分频网络

在传统的音响系统中，每一个音箱有两个驱动：一个是小扬声器，称作高音喇叭，它重现高频的声音；另一个是大扬声器，称作低音喇叭，它重现低频的声音（现代的音响系统常常将低音喇叭拿出来，放在一个独立的盒子里，这个盒子可以放在几乎任何地方，因为人耳很难听出低频声音的方向）。

你刚刚看过（并且可能还根据它制作过电路）的电路原理图就是所谓的“分频网络”，真正顶尖的音响发烧友都会制作他们自己的分频网络，他们会自己设计，并制作音箱箱体，自己选择扬声器。

如果你要制作一个分频网络，就必须使用高质量的聚酯电容器（它没有极性，比电解电容器耐用，做工更好），并使用正确匝数和正确尺寸的线圈在恰当的频率点分割出高频。图6所示即为一个聚酯电容器。

图7所示为一个音频分频线圈，是我在eBay上花6美元买到的。我很好奇它里面到底是什么，因此我买了两个，并拆解了其中的一个。

首先我剥除了包裹在线圈外面的黑色乙烯树脂绷带。里面就是典型的漆包线——涂有薄薄一层清漆或半透明塑料的铜线，如图8所示。我解开这些导线，并记录了匝数，然后测量了导线的长度，最后使用千分尺测量了导线的直径。

至于卷筒，它是普通塑料制成的空心卷筒——没有铁芯也没有磁芯。图9所示为相应的卷筒和导线。

结论：音响元件中有许多奥妙。它们往往定价过高，你可以依据我给的这些参数制作自己的线圈，并对参数进行调整来满足自己的需求。

请考虑这样一个实验项目：彩色风琴。你可以将你的立体声输出信号提取出来，使用滤波器将音频信号分成三个部分，每个部分驱动一组独立的彩色LED。让红色的LED随着低音闪烁，黄色的LED响应中频范围，绿色的LED响应高频范围（当然也可以选用你自己喜欢的任何颜色）。你可以将信号二极管与LED串联，来对交流进行整流，并串联电阻器来将LED上面的电压限制在某个数值（例如2.5V）以下（当音乐的音量调到最大时）。你应该使用万用表来测量通过每个电阻器的电流，乘以电阻器上的电压降，从而算出电阻器所处理的功率，要确保电阻器能够处理这么大的功率而不会烧坏。

如果你喜欢设计和搭建自己的电子电路的话，音响是一个可以提供各种可能的领域。

电子培训　视频教程

上海爱晶电子在精心的教学研究基础上，制作了电子技术培训视频教程。使用本视频教程会增强培训企业的竞争力、降低成本、扩大生源。此教程同时适用于大学电子竞赛学员培训，指导学员快速完成基础学习，尽早进入项目实践。

1. 51单片机组成与编程（1000元）

教程总长4小时，包括片内部件原理与编程、C51和μvsion4，适合对电子竞赛学员进行快速培训。

2. 单片机接口与外设（2000元）

针对单片机接口技术教学的困难——理论内容，本教程独到地绘制了许多功能理解示意图，合理地安排了讲解次序，有效地化解了难点，从而降低了学员理解单片机外围IC的困难。

3. 单片机电子项目（2000元）

借鉴项目驱动式的教学方法，本教程讲解4个完整的电子设计项目。 通过完整的项目来锻炼学员调试电路单元、熟悉电子器件、编写单片机的接口程序。这些电路单元包括电源电路、放大调理电路、AD/DA变换电路，功率主电路和驱动电路，测量电路等。

网　　址：www.winggle.com
联系电话：021-60491357，15801701650

深圳发烧音响有限公司
SHEN ZHEN HIFI AUDIO CO.,LTD.

旗下品牌：中大音响 派扬音响

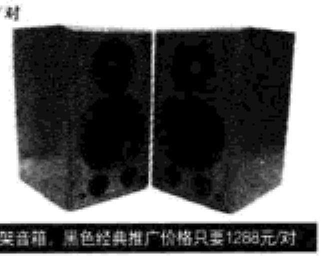
我们专业致力于超高性价比发烧音响的研发和制造，让普通工薪族享受高素质音乐是我们一贯的追求！打造中国最低价位发烧音箱，不满意均可退换，真正的网购无忧！更多高性价比音箱、功放、胆机、线材等产品请访问我们官方网站：http://www.audiodiy.cn；淘宝店：http://zdyx.taobao.com；公司电话：0755-27967130；13590158578；邮箱：audiodiy@163.com；QQ：469884785

一、HIFI四号书架音箱 只要900元/对

采用美国爱丽丝碳纤维喇叭
声场宏大震撼频率响应宽
灵敏度高，小功率胆机的绝配
淘宝网销量前列　万人好评
《无线电》第九期评测
外形尺寸：H370×D330×W210mm
失真：<0.65%（200～20kHz）
频响：50Hz～23kHz
灵敏度：90dB
功率：20～120W
阻抗：8Ω
分频点：3000Hz
净重：约18kg/对

二、玲韵一号书架音箱 只要500元/对，2011年新品，前500套成本价格销售，颠覆音箱市场价格！

采用进口Peerless喇叭
中频厚实人声甜美
灵敏度高容易推动
推荐书房、电脑房，卧室用最合适
外形尺寸：H320×D220×W190mm
失真：<0.68%（300～20kHz）
频响：60Hz～23kHz
灵敏度：87dB
功率：20～100W
阻抗：8Ω
分频点：2900Hz
净重：约10kg/对

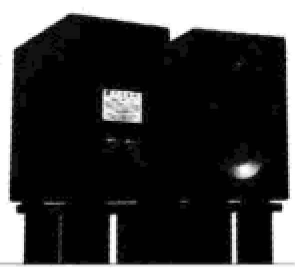


三、派扬P1发烧级书架音箱半价推广中

采用欧洲原装VIFA喇叭
特制钛膜高级别高音喇叭
HIFI高保真，解析力高，中频无比厚实，弹性好
外形尺寸：H376×D315×W230mm
失真：<0.5%（200～20kHz）
频响：52Hz～32kHz
灵敏度：89.5dB
功率：135W
阻抗：8Ω
分频点：3.1kHz
净重：约18kg/对

四、桑田一号书架音箱，黑色经典推广价格只要1288元/对

采用美国陶瓷铝盆喇叭
超高解析力还原细微音乐
三频频率响应平滑
淘宝网销量屡获冠军
外形尺寸：H295×D275×W185mm
失真：<0.5%（200～20kHz）
频响：55Hz～25kHz
灵敏度：87dB
功率：20～100W
阻抗：8Ω
分频点：3000Hz
净重：约13kg/对



启明家电维修软件

2011A兔年版集12万多种机型的维修经验和资料:有25万张电路图纸、近90万条维修经验、70多万种元器件型号的参数……

2011A兔年版比2010A虎年版增加了近5万张电路图纸、近10万条维修经验;并且在查询方式作了重要改进，软件不断升级解决了维修工对新图纸和新资料的渴求。

为确保本软件质量，实行三包：60天内包退（试用60天，若不满意可无理由申请退货!），一年内包换，终身售后服务！

启明软件能对245个家电产品种类、12446个品牌、127668种机型的计算机辅助诊断提供直接或间接的帮助：①它能提供各种不同的维修经验和实例近90万条，②能查到25万多张整机、单元电路和元器件电路图，③70多万种元件(集成块、晶体二极管、三极管、场效应管、可控硅、遥控器、行变、显像管等)型号的参数，④能速查电视机、音像制冷、通信、计算机显示器、汽车摩托车等123种家电产品种类、998个品牌、5360个机型共5万多个整机或单元电路的工作原理，⑤EEPROM写入器(并口和USB接口)可对总线数据进行备份、擦除和改写，用户能反复提取与保存各种产品的EEPROM数据，2011A兔年版清除了重复数据,用户使用更方便，⑥具有编辑和显示用户维修经验及数据的电子笔记本（个人数据库），可将用户的维修经验、集成块和三极管数据输入保存，并可随时调出使用或修改，⑦多媒体教学讲解（电视机、手机、VCD原理）图、文、声并茂，⑧含有常用家电中英文及缩写三向互查电子词典近18万条，⑨可速查多种家电维修期刊十多年的科技文献目录共15万多条，⑩具有家电维修经营管理和物流管理功能，帮助记录、统计、查询、打印家电维修经营业务和材料出入库业务，提升维修单位的管理水平，⑾确保电话和网络服务(QQ、网站留言等) 时刻畅通，及时回复各种问题及咨询，解决使用软件的疑难。

如此海量的维修资料与图纸可与省市级图书馆或互联网媲美：启明软件把海量的民用电器维修资料搬到您的计算机中，科学分类与编排，查找快捷方便。有时在图书馆或互联网上查资料可能会花掉几小时或几天，但用启明维修软件，只需点几次鼠标，几分钟内就能得到有针对性的图纸、资料和结论。轻松解决一般的维修难题!

本软件共六种版本：电视机版、音像制冷版、通信计算机版、专业版、汽车摩托车版、企业版。请根据需要选购适合自己的版本。现役军人、残疾人购买优惠，团购优惠，2005A以前版本特别优惠升级，欢迎代销，免费索取介绍资料。

软件设计、主编：冯启明。通信地址：武汉市喻家山华中科技大学喻园小区9栋17单元1002室　冯启明（收） 邮编：430074　电话：027-87546258、87542465(兼传真)、13797049281、18971075856、18971072891,18986115680 (节假日照常服务，8：30至17：30) QQ：924850236、1034189510、215610739、597464876、645541080、78268261。Email：fqm701@mail.hust.edu.cn fqm@qmstar.com　网站：www.qmstar.com www.qmstar.net　www.启明维修软件.cn　www.启明维修软件.中国 (网站上有演示版免费下载) 淘宝店：http://shop36542055.taobao.com

从2011年起,我们和伊万、欧万、安泰信和容特等著名仪器厂商合作，竭诚为维修提供优质的维修仪器和软件。

光荣公司科教产品套件大全（元）

1. 6管收音机	14/套	9. 调频调幅收音机Ⅰ	20/套	17. 调频收音耳机(大)	26/套
2. 7管收音机	16/套	10. 调频调幅收音机Ⅱ	22/套	18. 半双工对讲机	18/套
3. 8管收音机	20/套	11. 调频调幅收音机Ⅲ	26/套	19. 数字万用表	19/套
4. 直放收音机	10/套	12. 调频收音对讲机	26/套	20. 指针万用表	34/套
5. 一装响收音机	9/套	13. 卡通音箱调频收音机	20/套	21. 手机万能充	5-6/套
6. 双调频收音机	26/套	14. 调频插件收音机	20/套	22. 八路抢答器	18/套
7. 中波台式收音机	22/套	15. 9波段收音指针	35/套	23. 微型录音盒套件	16/套
8. 中短波台式收音机	28/套	16. 9波段收音数显	40/套	24. 5寸黑白电视套件	130/套

20多款不同种类收音机及更多科技产品套件尽在公司主页
WWW.GuangRongKeJi.com　电话：4006006849

北京：13301307792；新疆：0991-4502565　QQ：656634492 653609758
辽宁：024-31585257；黑龙江：0451-88867786

河北沧州东方电路板厂

专业生产单、双面电路板、面板！（1）单面环氧电路板（裸铜松香）：0.016元/cm²，（2）单面环氧全工艺电路板（热风整平渡锡）：0.026元/cm²，（3）双面电路板（金属化孔，整平渡锡）0.08元/cm²！（4）铝基板：0.08元/cm²！（5）PVC面板：0.015元/cm²，（6）衬板：0.015元/cm²！阻焊、字符等工艺免费，批量供货4—7天，加急最快12小时！光绘制板，数控钻床、铣床、微机生产流水线，成品电脑针床检测，保质高效为您服务，大批量另可详谈优惠

专业厂家质量严，价位低，工期短！

厂址：河北省沧县兴济镇陆官屯　　联系人：张金东
市场部：（兼传真）0317-4855899　　手机：13463779978
农行：6228481731223778316　　户名：张金东
网址：www.dfpcb.cn　QQ：623030905　旺号：6230309
邮箱：DF4852921@126.COM

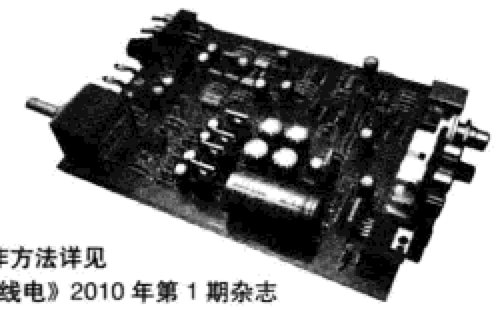
套件天地

购买方式：

1. 邮局汇款：
   北京市东城区夕照寺街14号A座
   《无线电》杂志社收
   邮编100061，请在汇款单上注明相应套件名称及联系电话。
2. 淘宝店购买：
   http://boqu.taobao.com

MINI USB DAC套件
580元/套+15元（邮费）

特点：（1）采用BB公司新型解码芯片PCM1793和高品质数字接收芯片DIR9001。（2）耳放部分采用了OP+BUF的框架模式，采用中功率管作为放大输出，能驱动例如H600等高档耳机。（3）创新采用单转双电源电路和虚地设计，使本机有较高的信噪比。（4）全部采用高品质的元器件，所有的5环电阻为日本KOA金属膜，电容为nichicon的音响专用系列，固体电容大量使用的是德国WIMA，电位器采用的是ALPS 大蓝壳，面板为高精度CNC加工。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 1 期杂志

用光驱制作CD转盘套件
99元/套+15元（邮费）

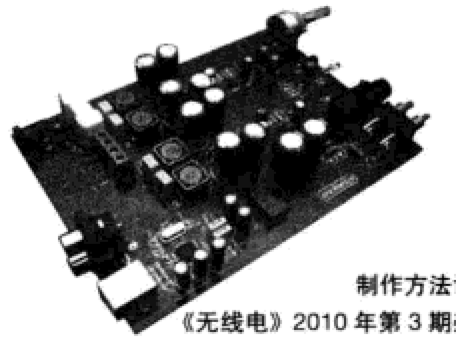
特点：光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放 CD 的控制板，网上称它为 CDROM 控制器，CDROM 控制器是通过 IDE 接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现 CD 机的基本功能，如：显示时间、曲目等，用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

制作方法详见
《无线电》2010 年第 2 期杂志

MINI USB AMP套件
290元/套+15元（邮费）

特点：采用BB公司新型的HIFI高品质D类放大芯片TPA3121，同时配合USB接收解码芯片，组成带有USB功能的纯后级D类放大器，本放大器具有极高的效率，在小体积中实现2×50W功率。

本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为 12～25V 直流，电流必须达到 3.5A 以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加 60 元。
②增加 USB 接收部分，需加 65 元。
③电位器升级为 ALPS 型，需加 35 元。

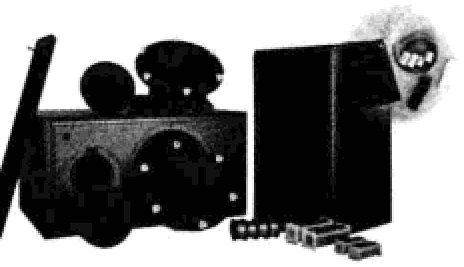


制作方法详见
《无线电》2010 年第 3 期杂志

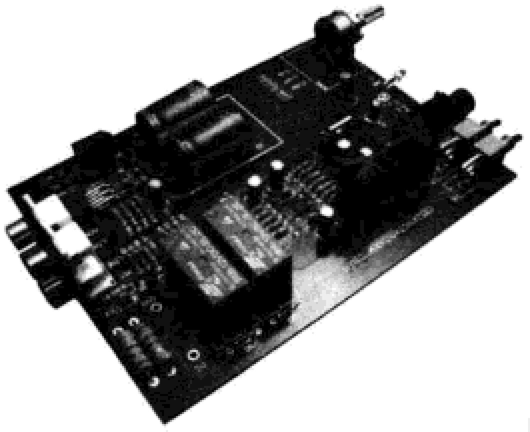
Clair音箱套件
3080元+100元（邮费）

特点：这是二分频书架音箱套件，高音和低音均采用挪威SEAS扬声器单元，高音单元前面板采用了DXT技术，可以有效地改善高音的离轴响应及指向性，便于与低音单元衔接，减少障板的衍射等。

注：(1) 因为套件重量为 23kg，所以箱体发物流，扬声器单元发快递，运输费为 100 元，偏远地区的用户必须到就近的大城市自提套件。(2) 本次套件数量有限，仅接收本刊淘宝店订购。



制作方法详见《无线电》2010 年第 8 期杂志



测量套件
99元/套+15元（邮费）

特点：本套件主要用来配合计算机声卡测量扬声器和音箱的各项参数，是一款DIY音箱简单实用的测量工具。

制作方法详见
《无线电》2010 年第 5 期杂志

MINI 1793 DAC套件
190元/套+15元（邮费）

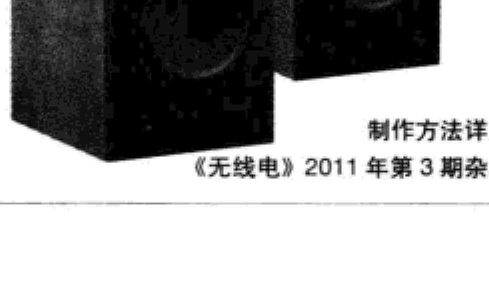
特点：套件使用TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134。套件采用小体积极限设计。

散件套件：（PCB+PCB上所有元件）190元/套+15元邮费
整机套件：（散件套件+变压器+机壳）260元/套+15元邮费

制作方法详见
《无线电》2010 年第 10 期杂志

E5多媒体音箱套件
680元/套+运费到付（50～100元不等）

特点：ELFE E5是专为小型居室和桌面音响设计的多媒体音箱套件，箱体尺寸为17（宽）cm×29（高）cm×24（深）cm，其频率响应为60~30000Hz ±3dB，灵敏度为86dB/W/m，阻抗为4Ω，建议功率：10~50W。高音采用1英寸钕磁球顶高音单元，低音采用5英寸Nomex磁屏蔽低音单元。此音箱的最大特点是，即使置于狭小空间也丝毫不会影响动态和音场再生。



制作方法详见
《无线电》2011 年第 3 期杂志

X-60功放套件
780元/套+30元（邮费）

特点：X-60 功放套件精密而复杂，安装前请一定要仔细了解说明！本功放使用的是国家半导体的芯片 LM4780。该芯片是一款立体声音频放大器，可以为每一声道连续提供平均高达 60W 的输出功率。在 20Hz~20kHz 的频率范围内其总谐波失真及噪声（THD+N）都不超过 0.5%。

制作方法详见
《无线电》2011 年第 4 期杂志

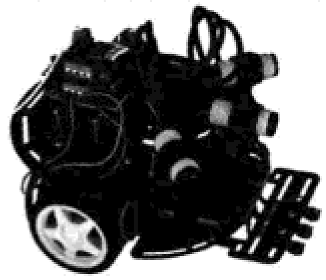
Arduino入门基础套件
359元/套+15元（邮费）

特点： Arduino基础入门套件是一款学习工具。它帮助你用流行的Arduino工具体验电子科技无穷的乐趣。所有套件零件无须焊接，直接在面包板上插拔即可，非常适合学习。另外，本套件还附带了10节实验课程，非常适合Arduino互动媒体爱好者、机器人爱好者、电子爱好者学习使用。

制作方法详见《无线电》2010 年第 10 期杂志

3PA机器小车套件
639元/套+15元（邮费）

特点： 3PA机器小车采用2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮，运动灵活快速，适合在室内的平坦路面行进。小车使用Arduino控制器，编程简单。车身有很多安装孔，可以加装传感器、舵机、摄像头等，实现监控、寻线、避障等功能，可以用于机器人教学实践，也可用于机器车比赛。

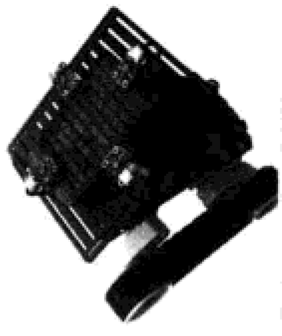


制作方法详见《无线电》2010 年第 11 期杂志

基于Arduino的太阳能收集装置套件

特点： 由路虎5履带小车、2自由度舵机云台、DFRduino Romeo 328控制器、Xbee传感器扩展板、光线传感器、太阳能电池板等组成，可随时检测周围环境光的亮度，并让太阳电池能板转动到光线最强的方向。

元件名称	参考价格
DFR0026模拟环境光线传感器	10×4元
2自由度DF15MG舵机云台	258元
多孔原型钣金板	59元
Xbee传感器扩展板V5	75元
DFRduino Romeo 328控制器	300元
太阳能电池板	50元
路虎5履带小车	188元

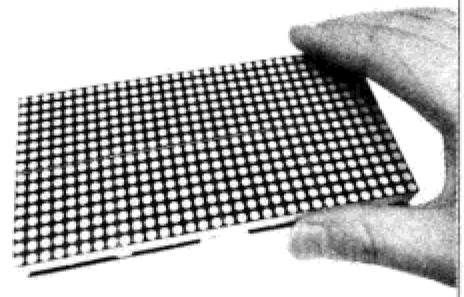


Arduino Sensor 9件套装
180元/套+15元（邮费）

特点： 包括 LM35 线形温度传感器（模拟）、环境光线传感器（模拟）、倾角传感器（数字）、触摸传感器（数字）、磁感应传感器（数字）、震动传感器（数字）、大按钮模块（数字）、灰度传感器（模拟）、LED 发光模块（数字）、3 根模拟传感器连接线和 6 根数字传感器连接线，是学习 Arduino 初级应用的最佳搭配。搭配 XBee 传感器扩展板 V5，使用起来更加方便。另有高精度传感器见淘宝店介绍。

Mini3216电子时钟套件
198元/套+15元（邮费）

特点： 超薄设计，整机厚度只有一片 PCB 加上 LED 屏的厚度，单片机直接驱动所有 LED 屏，电路 DIY 制作简单，无需驱动芯片，公历及农历的重要节日提醒功能，4 键全电容触摸式按键，32×16LED 点阵屏显示，全中文界面，DYS8100 高精准时钟芯片，一年内误差小于 1 分钟，早 8 点到晚 8 点整点报时功能，流动、渐变亮度式显示切换，精致 UI 设计，亮黑色镀金电路板，长久使用不褪色，超薄多功能连接排线，如无线般美观。



制作方法详见《无线电》2011 年第 2 期杂志

6自由度机械臂套件
1280元/套+15元（邮费）

特点： 6自由度机械臂采用高强度铝合金材料，由Arduino控制器加6个微型伺服电机（舵机）来实现控制，分别对应于臂、肘、腕（2个自由度）、张合5个关节和1个旋转底座，每个关节可在一定范围内运动，底座可以实现左右90°旋转。机械臂上的夹持器能轻松夹起最大直径58mm、大小100g以上的物品。这款机械臂可以用手柄或无线遥控模块进行操控，是个非常不错的制作项目和机器人演示教学平台。

制作方法详见《无线电》2010 年第 12 期杂志

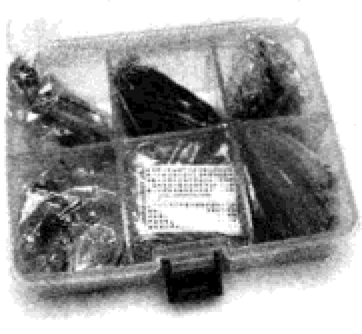
CUBE8光立方套件
430元/套+15元（邮费）

- ◆ 8×8×8LED阵列3D光立方体显示器。
- ◆ 黑色镜面PCB、全镀金焊盘和LOGO，高端品质。
- ◆ 高亮蓝色雾面LED灯，达到光立方极佳视觉效果。
- ◆ 连贯图形显示效果，浑然一体，一气呵成。
- ◆ 混合式触摸电源和模式按键，操作更稳定。
- ◆ 电源具有常开、常关、光线自动控制方式。
- ◆ 显示模块有快速、中速、慢速三挡设置。
- ◆ 4挡亮度的夜灯模式，可营造你的室内气氛。
- ◆ 2种音频显示模式，可随音频同步显示。
- ◆ “精简I²C”接口，全开放式用户自定义操控。
- ◆ 创新设计的LED阵列制作模板，让LED阵列制作简单快速。

制作方法详见《无线电》2011 年第 7 期杂志

“面包板入门电子制作”盒装套件
148元/套+15元（邮费）

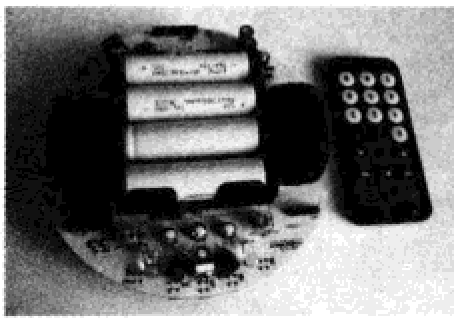
特点： 六宫格元件盒，内含：面包板、电池与电池盒、插接面包板专用线、LED灯、数码管、扬声器、电阻、磁铁、电容、蜂鸣器、电位器、话筒、干簧管、二极管、光敏电阻、微动开关等。可在面包板上完成数十个基础电路的搭建和设计，并配有不断更新的《无线电》杂志相关文章和高清教学视频，适合单片机爱好者的电路基础入门及中小学生的电子技术兴趣入门。



使用介绍从《无线电》杂志2012年第1期开始连载。欢迎个人、学校及校外教育机构团购。

MiniQ 2WD二轮机器车套件
379元/套+15元（邮费）

特点： MiniQ 2WD是款只有手掌大小的二轮驱动机器车，底盘上装有两个红外发射管、1个红外接收头、5个mini循线传感器、2个光敏电阻、4个蓝色的LED灯，可实现避障、循线、寻光、遥控、唱歌等功能。另外，还可以利用红外接收头配合附送的mini遥控器，实现遥控功能。MiniQ 2WD既可以在Arduino环境下开发编程，也可以在AVR环境下开发编程。本套件为无需组装的成品。



使用方法详见《无线电》2011 年第 4 期杂志

双足机器人套件
全套1344元+15元（邮费）

不含舵机、电池590元/套＋15元（邮费）

特点： 人型铝合金机器腿支架，表面拉丝黑色氧化工艺处理，美观耐用，防止长时间使用脱色，脚板及所有支架菱角都倒圆角，边缘光滑不伤手，足背打孔减轻重量，可完成机器人仿人行走。本套件包含 6 个舵机支架、2 个 L 支架、6 个 U 型支架、6 个杯士轴承等，不但可以组装人型机器腿，还可以组装多自由度云台、多自由度机械手等各种造型。

制作方法详见《无线电》2011 年第 6 期杂志

本页套件不仅适合爱好者自制，还非常适合各类学校电子实验室的师生作为制作项目用。欢迎各校师生团购、咨询热线：010-67134361。

Media TECHNOLOGY 传媒典藏

倾听大师的声音

音频技术与录音艺术

978-7-115-24509-0

978-7-115-24736-0

978-7-115-24734-6

978-7-115-24745-2

978-7-115-24075-0

978-7-115-23861-0

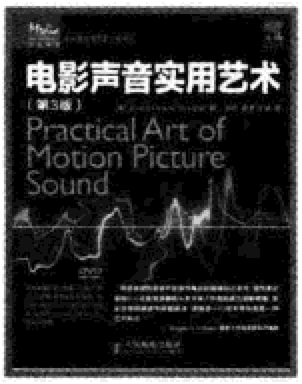
978-7-115-22919-9

978-7-115-22925-0

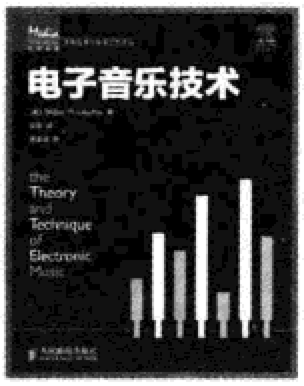
978-7-115-23819-1

978-7-115-21718-9

978-7-115-23255-7

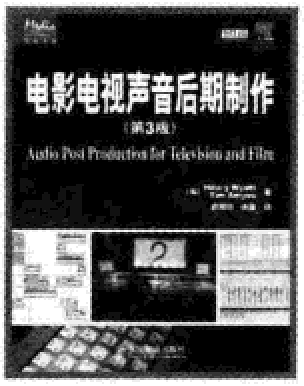


978-7-115-25367-5

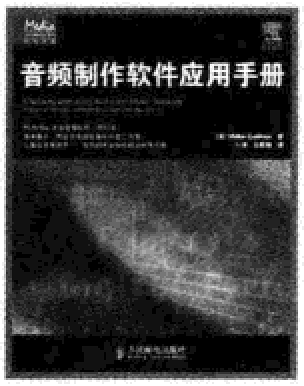


978-7-115-25697-3

978-7-115-21641-0



978-7-115-21935-0



978-7-115-20920-7

高保真音响
www.hi-fi.com.cn

网上购买

卓越亚马逊网上书店：http://www.amazon.cn
当当网上书店：http://book.dangdang.com
互动出版网：http://www.china-pub.com
邮科图书专营店：http://youkets.tmall.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市东城区夕照寺街 14 号 A 座
邮编：100061
咨询电话：010-67132837
邮购热线：010-67129212 67129213